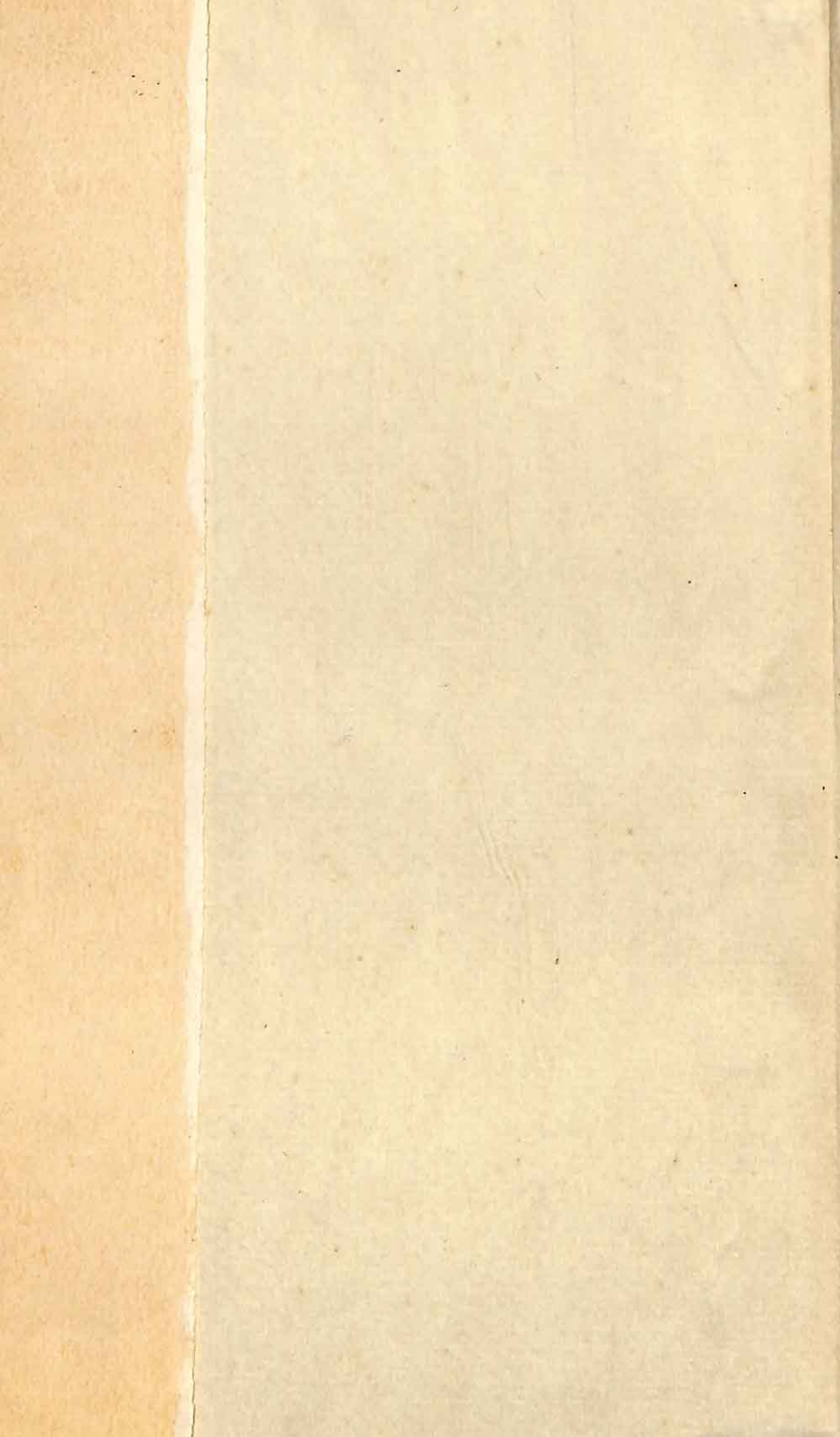
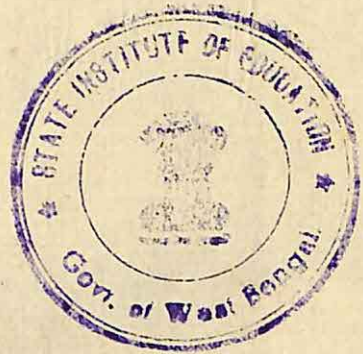
উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থ বিজ্ঞান

ডঃ ডি. পি. রায়চৌধুরী

Written according to the New Syllabus introduced by the West Bengal Council of Higher Secondary Education for Classes XI & XII

উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান

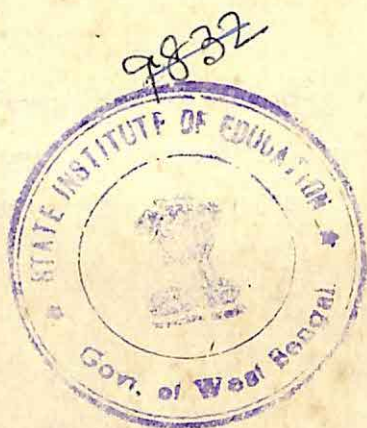
প্রথম খণ্ড

[বলবিজ্ঞান ; কম্পন ও তরঙ্গ ; পদার্থের ধর্ম ; তাপতত্ত্ব]

ডক্টর ডি. পি. রায়চৌধুরী, ডি. এস্‌সি.

কল্যাণী বিশ্ববিদ্যালয়ের পদার্থবিজ্ঞানের প্রাক্তন অধ্যাপক
ও বিভাগীয় প্রধান ; মধ্যশিক্ষা পর্ষদের প্রাক্তন সচিব

কে. পি. বসু পাবলিশিং কোং

৪২, বিধান সরণী, কলিকাতা-৭০০ ০০৬

Syllabus in Physics (Elective)

(Ordinary Level)

PAPER I—Mechanics ; General properties of matter ; Heat, Vibrations and Waves. (80 marks)

PAPER II—Optics; Magnetism; Electrostatics; Current Electricity ; Modern Physics. (80 marks).

PRACTICAL—40 marks.

[বই লেখাবার উদ্দেশ্যে পর্ষদ্ 'বঙ্গীয় প্রকাশক ও পুস্তকবিক্রেতা সভা'-কে যে সিলেবাস পাঠিয়েছিলেন, তাতে প্রত্যেক Paper-কে দুই Group-এ ভাগ করা ছিল, এবং গ্রুপগুলি নিচের মত হবে বলা ছিল :

PAPER I : GROUP A : Mechanics ; Vibrations and Waves.
GROUP B : Heat ; General properties of matter.

PAPER II : GROUP A : Electricity and Magnetism.
GROUP B : Optics and Modern Physics.

Each group to carry 40 marks.

ছাপা সিলেবাসে গ্রুপভাগের কথা বলা নাই।]

Total number of pages of the complete book not to exceed 600, excluding practical.

1. Mechanics

Particle Dynamics :

Rest and motion, reference frame, displacement, velocity and acceleration, momentum, kinematical equations (in one dimension), elementary problems.

Scalars and Vectors. Composition and resolution of vectors. Representation of vector by co-ordinates. Addition of vectors by geometrical and analytical methods. Relative velocity and acceleration.

Newton's laws of motion, inertia, units of force, impulse and impulsive forces, conservation of linear momentum, elastic collisions of particles moving in the same line, jets and rockets. Friction, static and kinetic friction, coefficient of friction.

Statics :

Centre of mass, centre of gravity. Conditions of equilibrium of a system of particles.

Dynamics of Rotational Motion :

Rotational motion of a particle, angular velocity, angular acceleration, relation between angular velocity and linear velo-

city, angular momentum, moment of a force about a point and about an axis, torque, relation between angular momentum and torque (statement only), couples, centripetal force, centrifugal force (as a pseudo-force).

Work, Energy and Power :

Definition of work, relevant units, work done by and against a force. Mechanical energy—kinetic and potential forms. Conservation of energy—with the case of a freely falling body as an example. Power—definition, units.

2. Vibrations and Waves

Vibrations :

Oscillations and its characteristics. Simple harmonic motion, examples. Relation with uniform circular motion. Graphical and mathematical representations. Energy in simple harmonic motion. Superposition of two simple harmonic motions in the same direction (graphical) (*i*) in phase, (*ii*) in opposite phases.

Nature of vibrations—(transverse and longitudinal). Free and forced vibrations, resonance, damped oscillations (qualitative discussions with examples).

Waves :

Types of waves, characteristic features of propagating waves, preliminary definitions and relations. Reflection and refraction of waves.

Superposition of waves ; stationary waves ; vibrations of strings and air columns.

Interference, beats, Doppler effect, polarization (qualitative discussions).

Nature of Waves :

(*i*) Sound waves as elastic waves. Velocity of sound, Laplace's formula (Newton's formula $v=\sqrt{E/\rho}$ to be assumed).

Sources of sound. Musical sound and noise. Principles of recording and reproduction of sound.

(*ii*) Light as a wave phenomenon. Finite velocity of light. Interference of light. Polarization (qualitative ideas). Validity of geometrical optics as an approximation.

3. General Properties of Matter

Gravitation :

Newton's law of universal gravitation. Constant of Gravitation (no experimental details on the determination of the

Gravitational Constant). Gravitational attraction for extended bodies. Gravitational attraction of the earth. Laws of falling bodies. Variation of acceleration due to gravity. Simple pendulum. Motion of planets, satellites. Escape velocity (no deduction). Weightlessness in orbiting satellites.

Elastic properties of matter :

Stress, strain, elastic limit. Hooke's law, elastic moduli, Young's modulus, bulk modulus, rigidity modulus, Poisson's ratio.

Hydrostatics :

Density, Specific Gravity (methods of determination of Sp. Gr. not required), Archimedes' principle (demonstrations), flotation, pressure in fluids, transmission of fluid pressure, Pascal's law and its applications. Air pressure and its measurement. Siphon, principles of lift pump, compression pump, vacuum pump.

Surface Tension and Viscosity :

Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations). Motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas).

4. Heat

Recapitulation of the basic concepts of heat and temperature.

Thermal expansions of solids and liquids. Simple demonstrations. Coefficient of expansion for solids, relation between them. Applications of expansions of solids.

Real and apparent expansions for liquids ; relation between expansion coefficients. Anomalous expansion of water. Effect on marine life.

Thermal expansion of gases.

Boyle's law, Charles' law, Equation of state of an ideal gas ; Volume and pressure coefficient, Absolute scale of temperature.

Calorimetry :

Preliminary definitions, principle of calorimetry (no questions on measurement to be set). Calorimetric problems.

Change of State :

Latent heat (brief discussions of determination), evaporation and boiling. Effects of pressure on melting point and boiling point.

Vapour pressure. Relative humidity. Dew, fog and cloud. Hygrometry, Regnault's hygrometer.

Mechanical equivalent of heat :

Heat as a form of energy. Relation between the calorie and the erg. Determination of mechanical equivalent of heat (paddle method). First law of thermodynamics. Isothermal and adiabatic expansions of gases. Specific heats of gases, definitions of C_p, C_v.

Kinetic Theory of Gases :

Evidence of molecular structure of matter and of random molecular motion. Brownian movement (qualitative description). Basic assumptions of the kinetic theory of ideal gases. Pressure of an ideal gas (mention of the formula ; derivation not required). Concept of temperature from kinetic theory. Qualitative discussions of limitations of ideal gas laws.

Transmission of Heat :

Conduction of heat, simple demonstrations ; thermal conductivity. Practical applications of thermal conduction. Convection of heat, convection current. Radiation ; radiation as a form of energy ; Stefan's law—statement and applications.

বিষয়সূচী

দ্বিতীয় অংশ—কম্পন ও তরঙ্গ 1—80

ভূমিকা

বইখানি নবপ্রবর্তিত XI-XII ক্লাশের পাঠ্যসূচী অনুযায়ী লেখা। প্রথমখণ্ডে প্রথম প্রশ্নপত্রের বিষয়গুলি ও দ্বিতীয়খণ্ডে দ্বিতীয় পত্রের বিষয়গুলি সিলেবাসে দেওয়া ক্রম অনুসারে সাজান হইয়াছে। স্থির বিদ্যুতের আলোচনা চুম্বকত্ব আলোচনার আগে দেওয়া হইয়াছে, কারণ স্থিরবিদ্যুৎ এককেন্দ্রিক (Unipolar) ও চুম্বক দ্বিকেন্দ্রিক (Bipolar)।

কোন কোন বিষয়ের আলোচনার পরিধি সিলেবাসে স্পষ্ট উল্লেখ না থাকায় লেখক উহা লিখিতে অসুবিধায় পড়িবেন। এখানে আমি দুইটি উদাহরণ উল্লেখ করিব—(i) Optics অংশে Laws of reflection, periscope ও (ii) Electromagnetism অংশে Magnetic effect of current—action of magnet on current। প্রথমটিতে লেখা কি সিলেবাসে উল্লিখিত বিষয় দুটিতেই আবদ্ধ থাকিবে? দ্বিতীয়টিতে কোন্‌টির কতখানি লিখিতে হইবে? স্বভাবতঃই এসব ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট পৃষ্ঠা-সংখ্যার মধ্যে থাকিবার জন্য বিভিন্ন লেখক নিজের বিচার বুদ্ধি মত ইহাদের বিভিন্ন অংশ বাছিয়া লইবেন। ইহাতে বিভিন্ন বইয়ের কাঠামো একই থাকিলেও খুঁটিনাটিতে অনেক প্রভেদ থাকার সম্ভাবনা। সিলেবাস আরও স্পষ্ট না করা বা কয়েক বছর পরীক্ষা না হওয়া পর্যন্ত এরূপ প্রভেদ ছাত্র ও শিক্ষক উভয়কেই কিছু বিভ্রান্ত করিতে পারে। কিন্তু হঠাৎ পরিবর্তনে এ অসুবিধা অবশ্যম্ভাবী।

আমাদের পঠন পাঠন পরীক্ষাকেন্দ্রিক। ছাত্র, শিক্ষক, অভিভাবক—প্রত্যেকেরই চিন্তা পরীক্ষায় কি প্রশ্ন বা কিরূপ প্রশ্ন আসিবে। কি প্রশ্নের উত্তরে কি লিখিতে হইবে—ইহা জানাই ছাত্রের দরকার বেশী। মূলতত্ত্বগুলি (Fundamental principles) আয়ত্ত থাকিলে সকলপ্রকার প্রশ্নের উত্তর উহা হইতেই দেওয়া যায়, এই সহজ সত্যটির উপর আমরা পাঠনকালে জোর দেই না। এই ত্রুটি বহুকাল হইতে চলিয়া আসিতেছে, এবং দুঃখের বিষয়, দৃষ্টিভঙ্গী বা পরীক্ষাপদ্ধতি না বদলাইলে এ ত্রুটি দূর হইবে না। ইহার ফলে ক্রমশঃ বেশীর ভাগ ছাত্র (এবং অনেক শিক্ষকও) অনুমোদিত পাঠ্যপুস্তককে তেমন মূল্য না দিয়া প্রশ্নোত্তরের নোটবইয়ের উপর জোর দেন বেশী। এই জন্যই পাঠ্যপুস্তকের চেয়ে অনেক বেশী দামী প্রশ্নোত্তরের নোটবইয়ের দরকার হয়। এগারো-বারো ক্লাশের ছাত্রের পঠিতব্য বইগুলির দাম ইহাতে প্রায় দেড়শ-দুশ টাকায় দাঁড়ায়। এই গরীব দেশে কটি ছাত্র তাহা কিনিতে পারিবে? ফলে দুর্নীতি ও ফেলের সংখ্যা বেশী থাকিয়া যাইবে, এবং শিক্ষা অধিকার যাহাদের হাতে ন্যস্ত পাশের সংখ্যা বাড়াইবার জন্য তাহাদের নানা কৌশল প্রয়োগ করিতে হইবে। ইহাতে দেশ পাইবে তৃতীয় শ্রেণীর পদার্থে প্রথম শ্রেণীর ছাপ। ইহার কোন আশু প্রতিবিধান দেখা যাইতেছে না। নোটবই বা সহায়িকা পণ্যদ্রব্যে পরিণত হইয়াছে। গুণাগুণ যাহাই হউক এসব বই চলে বিজ্ঞাপন ও বাট্টার (discount-এর) উপর। ফলে ইহাদের দাম অনেক বেশী রাখিতেই হয়।

ব্যবহারিক মূল্য কম হইবে জানিয়াও এই প্রতিকূল পরিবেশে অনুমোদনের জন্য পাঠ্যপুস্তক লেখা হইতেছে। লেখককে ভুলিয়া যাইতে হইবে যে খুব কম ছাত্রই তাহার বই পড়িবে। কিন্তু তাহা সত্ত্বেও লেখকের পক্ষে এমন ভাবে বই লেখা উচিত যাহাতে মূলতত্ত্বগুলি পরিস্ফুট থাকে, তাহাদের প্রয়োগে অন্য প্রশ্নের সমাধান কিভাবে হয়, ইত্যাদি। তাছাড়া, ছাত্রের কিছু অংশ ঐ বিষয়েই উচ্চশিক্ষার জন্য যাইবে। এরূপ ছাত্র যাহাতে পরবর্তী স্তরে অসুবিধায় না পড়ে তাহার দিকে বিশেষ লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন কারণ ভবিষ্যতের পথিকৃৎ ইহাদের মধ্য হইতেই আসার সম্ভাবনা।

বর্তমান বইখানি এইভাবেই লেখা হইয়াছে। ইহার কয়েকটি **বৈশিষ্ট্য** সংক্ষেপে বলা দরকার মনে করি।

(1) বর্তমান আন্তর্জাতিক পদ্ধতির একক, এককচিহ্ন, নামকরণ ও লিখনভঙ্গী অনুসরণ করা হইয়াছে।

[যে কারণে আমরা গণিতে আন্তর্জাতিক সংখ্যা 1, 2, 3 ইত্যাদি, রসায়নে মৌল-চিহ্ন H, O_2 ইত্যাদি গ্রহণ করিয়াছি, সেই একই কারণে পদার্থবিজ্ঞানে আন্তর্জাতিক সুপারিশ অনুযায়ী এককচিহ্ন m (মিটার), cm (সেন্টিমিটার), g (গ্রাম), kg (কিলোগ্রাম), s (সেকেণ্ড) ইত্যাদি ব্যবহার করিয়াছি। সে.মি., মি.মি. ইত্যাদি ব্যবহার সঙ্গত মনে করি নাই।]

(2) সকল বিষয়ের আলোচনায় মূলতত্ত্ব পরিষ্কার করিয়া বলা (ও বুঝান) হইয়াছে।

(3) সব ক্ষেত্রে আলোচনা সরল, সংক্ষিপ্ত অথচ পূর্ণাঙ্গ করা হইয়াছে।

(4) আলোচ্য বিষয়গুলিতে সম্ভাব্য অংক আলোচনার সঙ্গেই কষিয়া দেওয়া হইয়াছে। সিজিএস্ ও এম্‌কেএস্ উভয় পদ্ধতির এককের ব্যবহারই দেখান হইয়াছে।

(5) বর্ণনা ও ব্যাখ্যামূলক প্রশ্ন, বুদ্ধির প্রশ্ন ও অংক প্রচুর পরিমাণে দেওয়া আছে। সবগুলির উত্তর বই হইতেই পাওয়া যাইবে।

(6) জিজ্ঞাসু ছাত্রের জন্য কিছু কিছু বিষয় ছোট-হরফে ছাপা হইয়াছে। সাধারণ ছাত্র উহা বাদ দিতে পারে।

(7) ব্যাখ্যা ও বর্ণনা বুঝাইতে সহজে আঁকা যায় এমন রেখাচিত্র প্রচুর পরিমাণে ব্যবহার করা হইয়াছে। চিত্রের সংখ্যা 371।

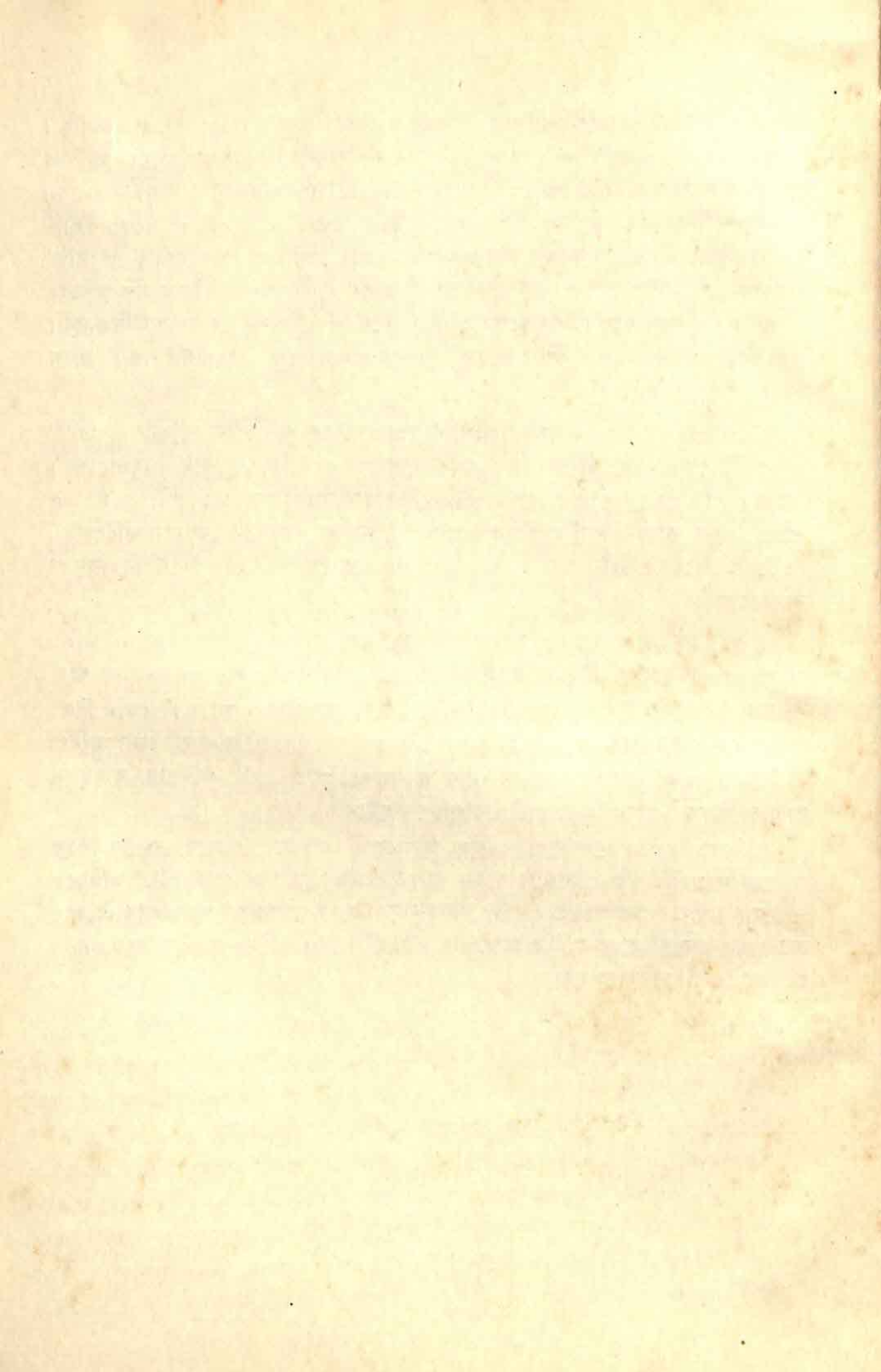
পরিভাষা। রাজশেখর বসু মহাশয়ের 'চলন্তিকা' ও সাহিত্যসংসদ্ প্রকাশিত 'সংসদ্ বাঙ্গালা অভিধান' হইতে পরিভাষা নেওয়া হইয়াছে। যে সকল শব্দের পরিভাষা ইহাদের কোনটিতে পাওয়া যায় নাই তাহা ভারত সরকারের প্রকাশিত 'বিজ্ঞান শব্দাবলী (Science Glossary)' হইতে নেওয়া। যে সব ক্ষেত্রে একই ইংরেজী শব্দের একাধিক পরিভাষা পাওয়া গিয়াছে, সেখানে যে শব্দটি বেশী অর্থবহ তাহাই ব্যবহার করা হইয়াছে। উদাহরণ স্বরূপ Polarization [= সমবর্তন (চলন্তিকা), ধ্রুবণ (বিজ্ঞান শব্দাবলী)] কথাটির উল্লেখ করা যাইতে পারে। লেখকের মতে 'ধ্রুবণ' কথাটি বেশী অর্থবহ ও ব্যবহার করা সোজা (যেমন, linearly polarized = রেখা-ধ্রুবিত ; circularly polarized বৃত্তধ্রুবিত, plane of polarization = ধ্রুবণতল,

ইত্যাদি)। এই কারণে প্রাপ্তিস্থান উল্লেখ করিয়া 'ক্ষবণ' ব্যবহার করা হইয়াছে। diffraction [= অপবর্তন (সংসদ্), বিবর্তন (শব্দাবলী)] অনুরূপ কথা। সংক্ষেপ বলিয়া 'বিবর্তন' ব্যবহার করা হইয়াছে। Critical (angle) অর্থে 'সংকট' (কোণ) ব্যবহার যুক্তিযুক্ত মনে হয় না কারণ এখানে কোন 'সংকট' ঘটে নাই। সংকট কথাটি Critical-এর আভিধানিক অর্থ হইতে আসে। বরং 'ক্রান্তিক' (শব্দাবলী) বা 'সন্ধি' (সংসদ্) যোগ্যতর পারিভাষিক শব্দ কারণ উভয় কথাই এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় যাওয়ার অর্থ বহন করে। শব্দতত্ত্বে Quality অর্থে 'গুণ' (সংসদ্) ব্যবহার উচিত নয়। ইহা আভিধানিক অর্থ। কিন্তু শব্দতত্ত্বে Quality একটি খুব বিশেষার্থক শব্দ। এরূপ উদাহরণ আরও আছে।

Stress ও Strain কথা দুইটির পরিভাষা সংসদ্ অভিধানে 'পীড়ন' ও 'ততি' দেওয়া আছে। ইংরেজীতে উভয় শব্দই সাধারণ এবং বিশেষ অর্থে ব্যবহার হয়। বাংলায় এই প্রভেদ রাখার জন্য stress = বিকারসৃষ্টিকারী বল অর্থে 'পীড়ক বল' ও প্রতি একক তলে ক্রিয়াশীল পীড়ক বলকে 'পীড়নাংক' বলা যুক্তিযুক্ত মনে করিয়াছি। 'ততি' আমাদের পরিচিত শব্দ নয় বলিয়া strain = আপেক্ষিক বিকার অর্থে 'বিকারাংক' ব্যবহার করিয়াছি।

প্রয়োজনীয় পরিভাষা সম্বন্ধে উচ্চমাধ্যমিক শিক্ষাসংসদ্ কিছু বলেন নাই। আমাদের সর্বজনগ্রাহ্য পরিভাষা না থাকায় বিভিন্ন লেখকের লেখায় পারিভাষিক শব্দে প্রভেদ পাওয়া যাইবে। ইহার সুবিধাও আছে, অসুবিধাও আছে। কোন শিক্ষা অধিকার পরিভাষা গঠন করিতে চাহিলে বহু লেখকের লেখা হইতে শব্দ চয়নের সুবিধা পাইবেন। ইহা না হওয়া পর্যন্ত বর্তমান ও পরবর্তী স্তরে বাংলা পরিভাষা ব্যবহারে ছাত্র ও শিক্ষক উভয়কে কিছু অসুবিধায় পড়িতে হইবে।

শিক্ষাক্ষেত্রে সর্বভারতীয় সমতার জন্য কেন্দ্রীয় সরকার শিক্ষাকে কেন্দ্রীয় বিষয় করিতে আগ্রহী। সদ্য এ উদ্দেশ্যে আইন পাশ হইয়াছে। 'বিজ্ঞান শব্দাবলী'-র ভূমিকায় তৎসম (অর্থাৎ সংস্কৃত হইতে অবিকৃত অবস্থায় গৃহীত) পারিভাষিক শব্দগুলিকে ঐক্যের জন্য সকল ভাষায়ই গ্রহণ করিতে অনুরোধ করা হইয়াছে। শিক্ষা কেন্দ্রীয় বিষয় হইলে ইহা কার্যত বাধ্যতামূলক হইবে।

লেখক

পদার্থবিজ্ঞান

প্রারম্ভিক পরিচয় ঃ মৌলিক বিষয়গুলির সংক্ষিপ্ত বিবরণ

(Introduction : Recapitulation of basic concepts)

পদার্থ ও শক্তি। মহাবিশ্বে মাত্র দুইটি মৌলিক সত্তা আছে—(১) পদার্থ (Matter), (২) শক্তি (Energy)। পদার্থের তিনটি ধর্ম—(১) পদার্থ খানিকটা স্থান জুড়িয়া থাকে, অর্থাৎ উহার আয়তন (Volume) আছে, (২) বলপ্রয়োগে উহাকে সরাইতে চাহিলে উহা বাধা দেয়, ও (৩) পদার্থকণা সর্বদাই অন্য পদার্থকণাকে আকর্ষণ করে (পদার্থের শেষোক্ত ধর্মকে মহাকর্ষ (Gravitation) বলে)। **শক্তি** তাহাকেই বলে যাহা পদার্থে কোন পরিবর্তন আনিতে পারে ; শক্তির ক্রিয়া ছাড়া পদার্থে কোন পরিবর্তন হয় না।

যে কোন পদার্থখণ্ডকে **বস্তু (Body)** বলে। বস্তুটি আকারে খুবই ছোট হইলে তাহাকে **কণা (Particle)** বলা হয়। যে কোন বস্তুকে অসংখ্য কণার সমষ্টি বলিয়া ধরা চলে। কণার আয়তন উপেক্ষা করায় উহার ভর আছে, অথচ আয়তন নাই এরূপ মনে করা হয়, এবং একটি বিন্দু দিয়া উহাকে নির্দেশ করা হয়। কোন বস্তুতে পদার্থের পরিমাণকে উহার **ভর (Mass)** বলে। পদার্থের যে তিনটি ধর্ম ভরেরও তাহা আছে—(১) ভরের আয়তন আছে, (২) ভরের জাড্য-ধর্ম (Inertia) আছে, অর্থাৎ বলপ্রয়োগ করিয়া স্থান পরিবর্তন করাইতে গেলে ভর বাধা দেয়, এবং (৩) ভরে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ হয়।

শক্তির বিভিন্ন রূপ আছে—(১) স্থিতিশক্তি (Potential energy) ও গতিশক্তি (Kinetic energy) যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical energy)-র দুই রূপ। তা ছাড়া (২) তাপশক্তি (Heat energy বা Thermal energy), (৩) আলোকশক্তি (Light energy), (৪) বৈদ্যুত শক্তি (Electrical energy), (৫) চৌম্বকশক্তি (Magnetic energy), (৬) পারমাণবিক বা নিউক্লীয় শক্তি (Atomic বা Nuclear energy) ও (৭) রাসায়নিক শক্তি (Chemical energy)।

পদার্থবিজ্ঞান ও তাহার শাখা। পদার্থবিজ্ঞানের মৌলিক আলোচ্য বিষয় হইল জড় পদার্থের উপর বিভিন্ন শক্তির ক্রিয়ার মূলসূত্রগুলি বাহির করা। শক্তির প্রকৃতি অনুসারে পদার্থবিজ্ঞানকে বিভিন্ন শাখায় ভাগ করা হইয়াছে। যন্ত্রবিজ্ঞান বা বলবিজ্ঞান (Mechanics) যান্ত্রিক শক্তি সংক্রান্ত। তাপতত্ত্ব, আলোকতত্ত্ব, বিদ্যুৎ-তত্ত্ব চুম্বকতত্ত্ব, পারমাণবিক পদার্থবিজ্ঞান (Atomic physcis)—এগুলি নিজ নিজ নামের শক্তি সংক্রান্ত শাখা। রসায়নে রাসায়নিক শক্তির ক্রিয়ার আলোচনা।

পদার্থের যে কোন পরিবর্তনে শক্তির রূপান্তর (Transformation of energy) হয় মাত্র ; শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। এই তথ্যকে **শক্তির নিত্যতা সূত্র**

(Principle of conservation of energy) বলে। এই সূত্র পদার্থবিজ্ঞানের একটি মৌলিক সত্য ; ইহার ব্যতিক্রম পাওয়া যায় নাই।

পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলি প্রকাশ করিতে যে সকল রাশির দরকার হয় তাহাদের **ভৌতরাশি (Physical quantity)** বলে। পদার্থবিজ্ঞান সূক্ষ্ম এবং সঠিক মাপনের উপর প্রতিষ্ঠিত। যে সকল রাশি মাপা যায় না (যেমন স্নেহ, ক্রোধ, ব্যথা প্রভৃতি যে কোন প্রকার অনুভূতি) পদার্থবিজ্ঞানে তাহাদের স্থান নাই।

পরিমেয় রাশির একক (Units of measurable quantities)। সকল ভৌতরাশিই পরিমেয়, অর্থাৎ উহাদের মাপা যায়। যে কোন রাশি বুঝাইতে উহার একক এবং সংখ্যাগত মান বলিতে হয়। সংখ্যাগত মান বলিতে উহা নিজ এককের কতগুণ তাহা বুঝায়।

ভৌতরাশি = সাংখ্যিক মান × একক।

উদাহরণ : E (শক্তি, Energy) = 100 erg ;

F (বল, Force) = 256 dyne ; ইত্যাদি।

SI-Units (এস্-আই একক বা আন্তর্জাতিক পদ্ধতির একক)। নিচের ছয়টি মৌলিক একককে ভিত্তি করিয়া এককের যে পদ্ধতি গঠিত হইয়াছে তাহাকে এককের **আন্তর্জাতিক পদ্ধতি (International System of Units)** বলে।

একক	চিহ্ন	একক	চিহ্ন
মিটার (metre)	m	অ্যাম্পিয়ার (ampere)	A
কিলোগ্রাম (kilogram)	kg	ডিগ্রী কেলভিন (degree kelvin)	°K
সেকেণ্ড (second)	s	ক্যাণ্ডেলা (candela)	cd

এই পদ্ধতির এককগুলি **SI-units (এস্-আই একক)** নামে পরিচিত। বিভিন্ন বৈজ্ঞানিক আন্তর্জাতিক সংস্থা পৃথিবীর সর্বত্র বৈজ্ঞানিক সকলপ্রকার মাপনে এইগুলি গ্রহণের সুপারিশ করিয়াছেন (1960 খ্রীঃ)।

এককের যে কোন পদ্ধতি গঠন করিতে যে রাশিগুলিকে মৌলিক বলিয়া ধরা হইবে তাহাদের প্রত্যেকের একটা সুনির্দিষ্ট পরিমাণকে ঐ পদ্ধতিকে ঐ রাশির মৌলিক একক বলা হয়। আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে মৌলিক রাশিগুলি হইল (1) দৈর্ঘ্য, (2) ভর, (3) কাল, (4) বিদ্যুৎ-ধারা, (5) উষ্ণতা ও (6) আলোক-তীব্রতা। আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে এই ছয়টি একককে যতদূর সম্ভব সূক্ষ্মভাবে স্থির করিয়া দেওয়া হইয়াছে। মিটার, কিলোগ্রাম ও সেকেণ্ড তোমাদের পূর্বপরিচিত ; কিন্তু মিটার ও সেকেণ্ডের পরিমাণ অতি সূক্ষ্মভাবে স্থির করিতে উহাদের পূর্বতন সংজ্ঞা একটু বদলাইয়াছে। কিলোগ্রাম তোমাদের পূর্বপরিচিত একক। অ্যাম্পিয়ার, ডিগ্রী কেলভিন ও ক্যাণ্ডেলার সংজ্ঞা আলোচনা যথাক্রমে ধারা-বিদ্যুৎ (Current electricity), তাপতত্ত্ব (Heat) ও আলোক-তত্ত্বর দীপ্তিমিতি (Photometry) অংশে করা হইবে।

এম্‌কেএস্ পদ্ধতি (MKS system)। মিটার, কিলোগ্রাম ও সেকেণ্ডকে একক ধরিয়া এই পদ্ধতি গঠিত হইয়াছে। বৈজ্ঞানিক কাজে সকল প্রকার যান্ত্রিক মাপনে মুখ্য আন্তর্জাতিক সংস্থাগুলি এই পদ্ধতি গ্রহণ করার স্থপারিশ করিয়াছেন। সিজিএস্ পদ্ধতির সঙ্গে ইহার সম্পর্ক ঘনিষ্ঠ হইলেও ইহার স্থবিধা সিজিএস্ পদ্ধতির মত মানগুলি কার্যক্ষেত্রে বেশী ছোট হয় না, এবং সেজন্য ব্যবহারিক একক (Practical units) আলাদা নিতে হয় না।

এম্‌কেএস্ পদ্ধতিতে

বলের একক নিউটন (newton ; চিহ্ন N)। $1\text{N} = 1\,\text{kg} \times 1\,\text{m/s}^2 = 10^5\,\text{dyn}$

কার্যের একক জুল (joule ; চিহ্ন J)। $1\text{ J} = 1\text{ N} \times 1\text{ m} = 10^7\text{ erg}$

ক্ষমতার একক ওয়াট (watt ; চিহ্ন W)। $1\text{ W} = 1\text{ J}/1\text{ s} = 10^7\text{ erg/s}$

বলবিজ্ঞানের সকল প্রশ্নে রাশিগুলি এম্‌কেএস্ এককে নিয়া অঙ্ক কষা চলে। আমরা অনেক ক্ষেত্রে ইহা করিব।

1954 সালের আগে পর্যন্ত **সিজিএস্ পদ্ধতি** (CGS system) প্রচলিত ছিল। ইহাতে দৈর্ঘ্যের একক ছিল সেন্টিমিটার (Centimetre ; চিহ্ন cm) = 0·01 m (মিটারের শতাংশ) ও ভরের একক ছিল গ্রাম (Gram, চিহ্ন gm ছিল ; কিন্তু বর্তমানে এই চিহ্নকে g করা হইয়াছে) = 0·001 kg (কিলোগ্রামের সহস্রাংশ)। কালের একক সেকেণ্ড উভয় পদ্ধতিতে এক (বর্তমান চিহ্ন s ; sec নয়)।

এফ্‌পিএস্ একক। ব্রিটিশ সাম্রাজ্যে দৈনন্দিন, ইঞ্জিনিয়ারিং ও বাণিজ্যিক কাজে মৌলিক একক ছিল ফুট (ft), পাউণ্ড (lb) ও সেকেণ্ড। বিজ্ঞানের মাপনে এগুলির প্রচলন নাই। আমাদের দেশেও এগুলি আর ব্যবহার করা হয় না।

1 ইঞ্চি (in) = 2·54 সেন্টিমিটার (cm) = 0·0254 m.

1 পাউণ্ড (lb) = 453·6 গ্রাম (g) = 0·4536 kg.

এই সম্পর্ক দুটি মনে রাখিলেই উপরোক্ত তিন পদ্ধতির সকল রাশিগুলির সম্পর্ক পাওয়া যাইবে।

একক চিহ্নের ব্যবহার। একক চিহ্নগুলিকে **বীজগণিতের রাশির মত** ব্যবহার করিতে হয়। $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 100\text{ cm}^2$। $10\text{s} \div 2\text{s} = 5$। $1\text{ kg} \div 20\text{ g} = 1000\text{g} \div 20\text{g} = 50$। বহুবচন বুঝাইতে উহাদের পিছনে s লেখা হয় না, বা উহা কোন কথার সংক্ষেপ বলিয়া উহার পিছনে . (স্টপ চিহ্ন) দেওয়া হয় না। এগুলি বর্তমান আন্তর্জাতিক প্রথার বিরোধী। অতএব আমরা cm-এর বদলে cms বা cm. লিখিব না। সকল রকমের একক সম্বন্ধেই একথা প্রযোজ্য।

বৈজ্ঞানিক মাপনে **কোণের একক রেডিয়ান** (Radian ; চিহ্ন rad)। r ব্যাসার্ধের বৃত্তের কেন্দ্রে r দৈর্ঘ্যের বৃত্তচাপ যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে এক রেডিয়ান বলে।

$$1\text{ rad} = 57{\cdot}3° \ ; \ \pi\text{ rad} = 180° \ ; \ 2\pi\text{ rad} = 360°.$$

বৃত্তের পরিধি/ব্যাস এই অনুপাতকে গ্রীক অক্ষর π (উচ্চারণ 'পাই') দিয়া বুঝান হয়। $\pi = 22/7$ বা 3·14 ধরা চলে।

মাপনে এবং মাপ লেখনে সূক্ষ্মতা (Precision in measurement and in recording data)। সূক্ষ্ম মাপন পদার্থবিজ্ঞানের ভিত্তি একথা তোমরা জান। সাধারণ কাজে অত্যন্ত সূক্ষ্মতার দরকার হয় না। তোমার বাড়ী হইতে কাছের রেল স্টেশন কতদূর তাহা 2·5 মাইল বা 4 কিলোমিটার জানিলেই তোমার চলে। ইহার চেয়ে বেশী সূক্ষ্মতায় (অর্থাৎ মাইলের সঙ্গে আরও কত ফুট আছে বা কিলোমিটারের সঙ্গে আরও কত মিটার আছে) এ দূরত্ব জানার তোমার দরকার হয় না। একখানা বেঞ্চ চওড়ায় 30 cm জানিলে তোমার চলে ; বড় জোর উহা 30·3 বা 30·4 cm বলিতে পার। তাহার চেয়ে বেশী সূক্ষ্মতার দরকার হয় না।

পদার্থবিজ্ঞানের মাপনেও সকল স্তরে একই রকম সূক্ষ্মতার দরকার হয় না। তোমাদের স্তর প্রাথমিক স্বর। এ স্তরে কোন মাপনই **তিনটি সার্থক অংকের** (Significant digit-এর) বেশী সূক্ষ্মতায় জানার দরকার বড় একটা হয় না। পরিমেয় রাশি (অর্থাৎ যে রাশি মাপিতে হইবে তাহা) ছোট হইলে উহাকে মাপনের জন্য সূক্ষ্মতর যন্ত্র দরকার হয়। কাপড় টাঙাইবার একগাছা তার কত মোটা তাহা মিটার স্কেল দিয়া তিনটি সার্থক অংক অবধি কি মাপিতে পার ? ইহার জন্য সূক্ষ্মতর মাপন যন্ত্র দরকার।

মাপ লেখনে সঠিকতা (Accuracy in recording data)। বিজ্ঞানে মাপ **দশমিক প্রথায়** লেখা হয় ; ভগ্নাংশে মাপ লেখার চল নাই। গণিতে 1·2 এবং 1·20 একই সংখ্যা হইলেও পদার্থবিজ্ঞানে উহাদের অর্থ এক নয়। কোন দৈর্ঘ্য 1·2 cm বলিলে বুঝাইবে উহা 1·3 cm ও 1·1 cm এর মধ্যে, এবং উহার শেষ সংখ্যাটি (অর্থাৎ 1·2-র 2) আসন্ন (approximate) মান বুঝায়। আরও বুঝায় যে মাপন দশমিকের প্রথম ঘরের (first place of decimal-এর) পরে আর করা হয় নাই। কিন্তু যদি বলি দৈর্ঘ্যটি 1·23 cm, ইহাতে বুঝাইবে মাপন দশমিকের দ্বিতীয় ঘর অবধি করা হইয়াছে, এবং মাপ 1·21 cm ও 1·19 cm এর মধ্যে। এ মাপন আগের চেয়ে সূক্ষ্মতর এবং বেশী সঠিক। যদিও গণিতে 1·2 এবং 1·20 সমান, পদার্থবিজ্ঞানে 1·2 cm এবং 1·20 cm এর অর্থ বা মূল্য এক নয়। প্রথমটিতে মাপন দুটি সার্থক সংখ্যা অবধি হইয়াছে, দ্বিতীয়টিতে তিনটি সার্থক সংখ্যা অবধি। দ্বিতীয় মাপ সূক্ষ্মতর।

ফল গণনায় সার্থক সংখ্যা। ধর, কোন আয়তাকার ষট্‌ফলকের (rectangular parallelepiped) বাহু তিনটি মাপিয়া মান পাইলে 4·23 cm, 2·67 cm ও 1·52 cm। উহার আয়তন $4·23 \text{ cm} \times 2·67 \text{cm} \times 1·52 \text{cm} = V \text{ cm}^3$। V-র মান কত লিখিবে ? গণিতের দিক দিয়া দেখিলে $V = 4·23 \times 2·67 \times 1·52 = 17·167032$ হইবে। কিন্তু পদার্থবিজ্ঞানে এরূপ লেখা চলিবে না। এখানে তোমাকে মনে রাখিতে হইবে কোন দৈর্ঘ্যই তুমি তিনটি সার্থক সংখ্যার বেশী সূক্ষ্মতায় জান না। তোমার ফলেও প্রথম তিনটি সংখ্যাই সার্থক ; তাহার পরের সংখ্যা অসার্থক। অতএব V-র মানে তুমি প্রথম তিনটি সংখ্যা রাখিবে। কেহ কেহ চতুর্থ সংখ্যাটিও রাখা পছন্দ করেন। চতুর্থ সংখ্যাটি অসার্থক বলিয়া, হয় উহাকে লাইনের একটু নিচে বা ব্রাকেটে ঘেরিয়া লেখা ভাল। কাজেই আলোচ্য ক্ষেত্রে আয়তন $17·1 \text{ cm}^3$ রূপে, বা $17·1_6$ বা

17·1 (6) cm³ রূপেও লিখিতে পার। প্রথম অসার্থক সংখ্যাটি লাইনের নিচে লেখাই ভাল। এই সংখ্যাটি 5 বা তাহার বেশী হইলে সাধারণত তাহার আগে সংখ্যাটিকে এক বাড়াইয়া লেখা চলে। এরূপ করিলে $V = 17 \cdot 2$ cm³ লেখা চলিবে।

মাপনে ত্রুটি (Errors in measurement)। সকল মাপনেই কিছু ত্রুটি (Error) থাকে। 'ত্রুটি' আর 'ভুল' এক নয়, বা 'ত্রুটি' কোন ব্যক্তিগত দোষও বুঝায় না। মাপনে ত্রুটি নানা কারণেই হইয়া থাকে। ইহাদের মধ্যে যন্ত্রগত ত্রুটি (Instrumental error), পাঠগ্রহণে ত্রুটি, উষ্ণতা, চাপ, আর্দ্রতা প্রভৃতি পারিপার্শ্বিক অবস্থার পরিবর্তনের জন্য ত্রুটি (Environmental error) প্রভৃতি নানা রকমের ত্রুটি আছে। ইহাদের কোনটি এড়ান যায়, কোনটি যায় না। এই কারণেই মাপনে সার্থক অংক সীমিত হয়। বেশী সার্থক অংক পাইতে সূক্ষ্মতর যন্ত্র ব্যবহার করা দরকার। স্থূলভাবে ধরিতে পার কোন যন্ত্র ব্যবহারে মাপনের ত্রুটি যন্ত্রের ক্ষুদ্রতমাংকের (Least count-এর) সমান। যন্ত্রের স্কেল অনুসারে উহা সব চেয়ে কম যে রাশি মাপিতে পারে তাহাকেই উহার 'ক্ষুদ্রতমাংক' বা 'লীস্ট কাউন্ট' বলে।

মাপন সম্বন্ধে এখানে আমরা যে সকল কথার উল্লেখ করিলাম তাহা 'প্র্যাকটিক্যাল ক্লাশে' তোমাদের প্রয়োগ করিতে হইবে। সেখানেই এগুলি ভাল করিয়া শেখাইবার কথা। প্র্যাকটিক্যালের বইতে এ সম্বন্ধে আরও বিশদ আলোচনা পাইবে এই আশায় আমরা এ বিষয়ে আর কোন আলোচনা করিলাম না।

দৈর্ঘ্য, ভর ও কালের মাপন যন্ত্র। স্কুলের পাঠ্যসূচী অনুসারে এগুলির সঙ্গে তোমাদের স্কুলেই পরিচয় হইবার কথা। একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর প্র্যাকটিক্যাল ক্লাশে এগুলি তোমরা ব্যবহার করিবে। কাজেই এখানে এগুলি সম্বন্ধে তোমাদের অল্প কয়েকটি কথা বলিব।

মিটার স্কেলে সাধারণত মিলিমিটার পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। মিলিমিটারের ভগ্নাংশ 'ভার্নিয়ার' (Vernier) স্কেলের সাহায্যে পড়া যায়। 'স্লাইড ক্যালিপার্স' (Slide Calipers) ভার্নিয়ার স্কেলযুক্ত দৈর্ঘ্য মাপন যন্ত্র। ইহাতে 0·1 mm পর্যন্ত মাপা যায়। মূল স্কেলের $n-1$ সংখ্যক ছোট ভাগকে ভার্নিয়ার স্কেলে n সংখ্যক সমান ভাগ করিলে, ভার্নিয়ার স্থিরাংক (vernier constant) হয় মূল স্কেলের ছোটভাগের n-তম অংশ। স্লাইড ক্যালিপার্সে সাধারণত 9 mm দৈর্ঘ্যকে ভার্নিয়ার স্কেলে 10 ভাগ করা হয়। অতএব ভার্নিয়ার স্থিরাংক এক্ষেত্রে $\frac{1}{10}$ mm।

'স্ক্রু গেজ' (Screw gauge)-এ দৈর্ঘ্যের স্কেল সাধারণত মিলিমিটারে কাটা থাকে। ভাল গেজে উহা অর্ধ মিলিমিটারও হইতে পারে। ইহার ভগ্নাংশ বৃত্তাকার (circular) স্কেলের সাহায্যে পাওয়া যায়। যন্ত্রের লীস্ট কাউন্ট 0·02 mm বা 0·01 mm হয়। স্ক্রু গেজের সাহায্যে মাপন স্লাইড ক্যালিপার্সের চেয়ে সূক্ষ্মতর। কিন্তু মাপনের পাল্লা (range) সূক্ষ্মতর যন্ত্রে সাধারণত কম।

ভর মাপনে তোমরা স্প্রিং তুলা (Spring balance) অথবা সাধারণ তুলা (Common balance) ব্যবহার করিবে। যদি মনে রাখিতে পার যে তোমাদের

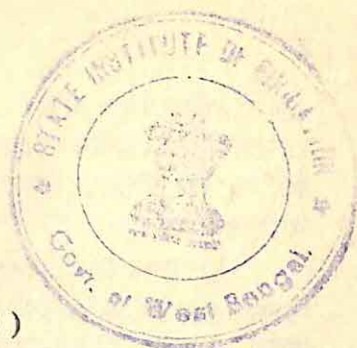
প্রাথমিক স্তরের মাপন মাত্র তিনটি সার্থক অংক পর্যন্ত করিলেই চলিবে, তাহা হইলে কোন্ যন্ত্র ব্যবহার তোমার পক্ষে সুবিধার তাহা নিজেই ঠিক করিতে পারিবে। কোন রাশি মাপনে এ স্তরে আমরা 100 ভাগে 1 ভাগ (1%) ত্রুটি সহ্য করিতে পারি। অতএব 10 cm এর বেশী দৈর্ঘ্য মাপনে মিটার স্কেলই যথেষ্ট। তাহার কম দৈর্ঘ্যে স্লাইড ক্যালিপার্স, এবং আরও কম (1 cm ক্রমের) হইলে স্ক্রু গেজ।

ভর মাপনেও তিনটি সার্থক অংকের বেশী পাইবার বড় একটা দরকার হয় না। অতএব 100 g বা তাহার বেশী ভর মাপনে স্প্রিং তুলাতেই কাজ চলে। সাধারণ তুলায় ভর বুঝিয়া গ্রামের দশমাংশ বা শতাংশ পর্যন্ত মাপনই যথেষ্ট। নির্ণেয় ভর 10 g ক্রমের হইলে মাপন গ্রামের দশমাংশ পর্যন্ত, এবং 1 g ক্রমের হইলে শতাংশ পর্যন্ত করিলেই চলিবে।

সময়ের ব্যবধান মাপিতে তোমরা 'স্টপ-ক্লক' (Stop-clock) বা 'স্টপ-ওয়াচ' (Stop-watch) ব্যবহার করিবে। স্টপ-ক্লকে আধ সেকেণ্ড পর্যন্ত মাপা যায়; ইহা ঐ ঘড়ির ক্ষুদ্রতমাংক। স্টপ-ওয়াচের ক্ষুদ্রতমাংক 0·2 s ($\frac{1}{5}$ s) বা 0·1 s ($\frac{1}{10}$ s) হইতে পারে। স্টপ-ক্লকে মাপনের মোট ত্রুটি 1 s ধরিতে পার। অতএব নির্ণেয় সময়ের ব্যবধান 100 s বা বেশী হইলে মাপনের ত্রুটি 1%-এর মধ্যে থাকিবে।

মাপন সম্বন্ধে আর একটি বিশেষ মূল্যবান কথা মনে রাখিও। যখন একাধিক রাশি মাপিয়া সূত্রপ্রয়োগে কোন বিশেষ রাশির মান বাহির করিতে হইবে, তখন প্রত্যেক রাশি মাপনের আপেক্ষিক ত্রুটি যথাসম্ভব সমান হওয়া বাঞ্ছনীয়। একটিতে আপেক্ষিক ত্রুটি অন্যটি বা অন্যগুলির আপেক্ষিক ত্রুটির চেয়ে অনেক কম করার চেষ্টায় কোন লাভ হয় না। মনে কর পেণ্ডুলামের সাহায্যে অভিকর্ষীয় ত্বরণ বাহির করিতে হইবে। এ ক্ষেত্রে পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য ও দোলনকাল মাপিয়া সূত্রপ্রয়োগে ত্বরণ পাওয়া যায়। দৈর্ঘ্য মাপনের ত্রুটি 1% হইলে সময় মাপনের ত্রুটি তাহার চেয়ে অনেক কম করার চেষ্টায় কোন লাভ নাই। কারণ নির্ণীত ফলে ত্রুটি মোটামুটি সবগুলি ত্রুটির যোগফল।

বলবিজ্ঞান

১ কণার গতিবিজ্ঞান (Particle Dynamics)

1-1. সূচনা। বলবিজ্ঞানের প্রধান অংশ দুইটি—(১) গতিবিজ্ঞান (Dynamics) ও স্থিতিবিজ্ঞান (Statics)। পদার্থবিদ্যার সকল বিভাগেই বলবিজ্ঞানের প্রয়োগ দরকার হয় বলিয়া শিক্ষার্থীর ইহা ভাল করিয়া জানা দরকার।

বলবিজ্ঞান প্রযুক্ত গণিতের (Applied mathematics) অন্তর্গত। গণিতে ইহা যে ভাবে পড়িতে হয়, আমরা এখানে তাহা করিব না, কারণ আমাদের উদ্দেশ্য পদার্থ-বিদ্যার আলোচনায় দরকার-মত বলবিজ্ঞান প্রয়োগ করা। কাজেই প্রয়োগের উদ্দেশ্যে বলবিজ্ঞানের যেটুকু অংশ জানা দরকার আমরা সেইটুকুই জানিবার চেষ্টা করিব। ইহার জন্য আমাদের দরকারী সূত্রগুলির সঙ্গে আমরা পরিচিত হইব ও প্রয়োগের উদ্দেশ্যে তাহাদের আলোচনা করিব। তবে সাধারণত সেগুলির 'প্রমাণ' (Proof) আমরা আলোচনা করিব না।

1-1.1. বলবিজ্ঞানে ব্যবহৃত বিশেষ কয়েকটি কথার অর্থ। ইহাদের অধিকাংশই তোমরা স্কুলে আগেই জানিয়া থাকিলেও সংক্ষেপে কথাগুলির অর্থ আর একবার বলায় সুবিধাই হইতে পারে।

(১) কণা (Particle)। কণা বলিতে খুব ছোট পদার্থখণ্ড বুঝায়; এত ছোট যে উহার অবস্থান (position) এবং ভর জানিলেই চলে। কণার আকার বা আয়তন আমরা উপেক্ষা করি। আঁকিতে গেলে উহাকে একটি বিন্দুরূপে দেখান হয়।

(২) বস্তু (Body) ও দৃঢ়বস্তু (Rigid body)। যে কোন পদার্থখণ্ডকেই 'বস্তু' বলা যায়। উহার ভর এবং দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ইত্যাদি আছে। কোন বস্তুকে সব-সময়ই অসংখ্য কণার সমষ্টি বলিয়া মনে করা হয়। 'দৃঢ়বস্তু' বলিতে এমন বস্তু বোঝায় যাহার যে কোন দুইটি কণার দূরত্ব সকল অবস্থায়ই স্থির বলিয়া মনে করা চলে। যদিও চাপ দিলে বস্তুর আকার বা আয়তন একটু বদলায়, তবুও আমাদের আলোচনায় আমরা সকল বস্তুকে সাধারণত 'দৃঢ়'ই মনে করিব।

[পদার্থের উপর বলের ক্রিয়ায় উহার আকার বা আয়তনের পরিবর্তন বলবিজ্ঞানেরই এক অংশ। 'পদার্থের ধর্ম' অংশের দ্বিতীয় পরিচ্ছেদে ইহার কিছু আলোচনা আছে।]

(৩) স্থিতি (Rest) ও গতি (Motion)। যে বস্তু তাহার পরিপার্শ্ব (surroundings) সাপেক্ষে স্থির, তাহা 'স্থিতি'তে আছে বলা হয়। পরিপার্শ্ব সাপেক্ষে সচল বস্তুর 'গতি' আছে বলা হয়। স্থিতি ও গতি কথা দুটি আপেক্ষিক (relative)। বাস,

ট্রেন বা স্টীমারে যে যাত্রী বসিয়া আছে সে অন্য যাত্রী সাপেক্ষে স্থির, কিন্তু রাস্তার বা নদীর ধারের লোক সাপেক্ষে সে সচল। সাধারণত ভূপৃষ্ঠ সাপেক্ষে স্থির থাকিলে কণা বা বস্তু স্থিতিতে আছে, এবং ভূপৃষ্ঠ সাপেক্ষে সচল থাকিলে উহা গতিতে আছে ধরা হয়।

(৪) সরণ (Displacement)। কোন কণা যেন আদিতে O বিন্দুতে ছিল। কিছুক্ষণ পরে সে A বিন্দুতে আসিল। O হইতে কণা যে পথেই A বিন্দুতে আসিয়া থাকুক না কেন, OA **সরলরেখাকে** কণার 'সরণ' বলা হইবে। সরণ বুঝাইতে দুইটি রাশির উল্লেখ করিতে হয়—উহা আদিবিন্দু (O) হইতে (১) কোন্ 'দিকে' এবং (২) কত 'দূরে'। যে সকল রাশির মান ও দিক্ উভয়ই থাকে তাহাকে **ভেকটর (vector)** রাশি বলে। সরণ ভেকটর রাশি।

(৫) বেগ (Velocity) ও দ্রুতি (Speed)। সময়ের সহিত সরণের পরিবর্তনের হারকে বেগ বলে। বেগেরও মান ও দিক্ উভয়ই আছে; বেগও ভেকটর রাশি। বেগের মানকে দ্রুতি বলে; দ্রুতিতে দিকের প্রশ্ন নাই।

(৬) ত্বরণ (Acceleration)। সময়ের সহিত বেগের পরিবর্তনের হারকে ত্বরণ বলে। ইহারও মান ও দিক্ দুইই আছে। বেগ বা সরণের মত ত্বরণও ভেকটর রাশি। ত্বরণের মান নিগেটিভ (negative) হইলে সেক্ষেত্রে ত্বরণকে কখন কখন 'মন্দন' (Retardation বা Deceleration) বলে। মন্দনে বেগ আদিতে বেশী, পরে কম।

(৭) ভরবেগ (Momentum)। বস্তুর ভর ও বেগের গুণফলকে ভরবেগ বলে।

গড় মান ও সাময়িক বা তাৎক্ষণিক মান (Average value and instantaneous value)। বেগ, ত্বরণ প্রভৃতির মত রাশি যাহা অন্য রাশির পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর করে, তাহাদের মান 'গড় মান' বা 'সাময়িক মান' হইতে পারে। মনে কর, একই সরলরেখায় কোন কণার সরণ t_1 মুহূর্তে s_1 ও t_2 মুহূর্তে s_2 ছিল। এক্ষেত্রে, $t_2 - t_1$ অবসরে কণার গড় বেগ $= (s_2 - s_1)/(t_2 - t_1)$। যদি $t_2 - t_1$ অবসর খুবই ছোট হয়, তখন বেগকে **সাময়িক** বা **তাৎক্ষণিক বেগ** বলে। ত্বরণ বা অনুরূপ অন্য রাশি সম্বন্ধেও একথা প্রযোজ্য। পরিবর্তন যদি সুষম (uniform) না হয়, অর্থাৎ একই অবসরে পরিবর্তন যদি সমান না হয়, তবে সে ক্ষেত্রে গড় মান ও সাময়িক মান উভয়ের কথাই আসে। পরিবর্তন সুষম (অর্থাৎ সমান হারে) হইলে গড় ও সাময়িক মান একই হয়।

(৮) নির্দেশ ফ্রেম* (Reference frame)। ত্রিমাত্রিক দেশে (three dimensional space-এ) কোন কণার অবস্থান বুঝাইতে হইলে একই বিন্দু হইতে তিনটি

---

* ভারত সরকার রচিত বৈজ্ঞানিক পরিভাষা 'বিজ্ঞান শব্দাবলী'-তে Reference frame-কে 'নির্দেশ ফ্রেম' ও co-ordinate system-কে 'নির্দেশতন্ত্র' বলা হইয়াছে। 'নির্দেশাংক', 'স্থানাংক'ও ঐ সূত্রেই পাওয়া। 'চলন্তিকা'য় co-ordinates-এর পরিভাষা 'স্থানাংক' দেওয়া হইয়াছে।

সমকোণী রেখা (অক্ষ) টানিয়া আমরা উহা করিতে পারি। কোন বিন্দু হইতে তিন অক্ষে (X, Y, Z অক্ষ) লম্বপাত করিলে এবং মূলবিন্দু হইতে লম্বগুলির দূরত্ব যথাক্রমে x, y, z হইলে বুঝাইবে মূলবিন্দু হইতে ঐ বিন্দুস্থ কণার X-অক্ষ বরাবর দূরত্ব x, Y-অক্ষ বরাবর দূরত্ব y এবং Z-অক্ষ বরাবর দূরত্ব z। x, y, z রাশি তিনটিকে ঐ বিন্দুর **স্থানাংক (Space co-ordinates)** বলে।

অন্যভাবে দেখিলে বলা যায় ত্রিমাত্রিক দেশে বর্ণনা হইয়াছে তিনটি পরস্পর সমকোণী সমতল সাপেক্ষে। ইহাদের একটি X – Y তল, একটি Y – Z তল ও তৃতীয়টি Z – X তল। তলগুলির ছেদরেখাই তিনটি অক্ষ।

যে সকল রেখা বা তলের সাহায্যে এক বা একাধিক রাশি দিয়া কোন কণা, রেখা বা তলের অবস্থান নির্দেশ করা যায় তাহাদের যৌথভাবে আমরা **নির্দেশ ফ্রেম বা নির্দেশ কাঠাম (Reference frame)** বলি। নির্দেশ ফ্রেম নানাভাবে নেওয়া যায়। উহাদের যে কোন একটিকে আমরা **নির্দেশতন্ত্র (Co-ordinate system)** বলিয়া থাকি। উপরের বর্ণনায় সমকোণীয় নির্দেশতন্ত্রের কথা বলা হইয়াছে। নির্দেশতন্ত্র সমকোণী বা তলগুলি সমতল না হইয়া অন্য নানা রকম হইতে পারে। কিন্তু প্রথম স্তরে সমকোণী নির্দেশ তন্ত্র ব্যবহার করাই সুবিধা।

যে কোন নির্দেশ তন্ত্রে বা ফ্রেমে যে দিকে সরিলে কণার স্থানাংকের একটির মাত্র পরিবর্তন হয় তাহাই নির্দেশতন্ত্র বা ফ্রেমের অক্ষ (axis)। ত্রিমাত্রিক তন্ত্রে বা ফ্রেমে কণা কোন নির্দেশী তলে থাকিলে উহার একটি স্থানাংক শূন্য, নির্দেশী অক্ষে থাকিলে তুইটি স্থানাংক শূন্য হয়।

নির্দেশ ফ্রেম কথাটি আরও ব্যাপক অর্থেও ব্যবহার করা হয়। কোন স্বাভাবিক ঘটনার বর্ণনা দিতে গেলে কিছু সাপেক্ষে উহা বলা দরকার হয়। যাহা সাপেক্ষে বর্ণনা হয় তাহাই নির্দেশ ফ্রেম।

1-2. স্থিতিবিদ্যা বা শুদ্ধগতিবিজ্ঞান* (Kinematics)। গতিবিজ্ঞানকে (Dynamics-কে) সাধারণত তুই অংশে ভাগ করা হয়—(১) স্থিতিবিদ্যা বা শুদ্ধগতি-বিজ্ঞান (kinematics) ও (২) গতিবিদ্যা (kinetics)। স্থিতিবিদ্যায় কেবল গতির বর্ণনা করা হয়; গতির কারণস্বরূপ বলের অবতারণা করা হয় না। গতিবিদ্যায় গতির কারণস্বরূপ বলের কথাও বলা হয়। গতির বর্ণনা অপেক্ষাকৃত সহজ; তাই ইহার আলোচনা আগে করা হয়।

গতি সরলরেখায়, কোন সমতলে বক্ররেখায় বা ত্রিমাত্রিক দেশে বক্ররেখায় হইতে পারে। ইহাদের মধ্যে সরলরেখায় গতির আলোচনা সবচেয়ে সহজ। গতি সুষম বা অসম বেগে হইতে পারে। সুষম গতির আলোচনা সবচেয়ে সহজ। বেগ

* Kinematics = স্থিতিবিদ্যা (চলন্তিকা)

Kinematics = শুদ্ধগতিবিজ্ঞান (ভারত সরকারের 'বিজ্ঞান শব্দাবলী')

অসম হইলে বুঝিতে হইবে গতিতে ত্বরণ আছে। ত্বরণও সুষম বা অসম হইতে পারে। আমরা এখানে সরলরেখায় সুষম ত্বরণে গতির প্রকৃতি আলোচনা করিব।

1-2.1. সুষম ত্বরণে সরলরেখায় গতির সূত্র (Formulae for uniformly accelerated motion in a straight line)। সুষম ত্বরণ বলিতে বুঝায় বেগের পরিবর্তন একই দিকে হইতেছে এবং বেগপরিবর্তনের হার আলোচ্য সকল সময়েই সমান। সুষম ত্বরণে সরলরেখায় গতির সবচেয়ে সহজ উদাহরণ হইল উর্ধ্বাধঃ (খাড়া) রেখায় বিনা বাধায় কোন বস্তুর পড়া বা ওঠা। এক্ষেত্রে ত্বরণ স্থির এবং উহার মান $g = 980\ \text{cm/s}^2 = 9{\cdot}8\ \text{m/s}^2$। g রাশিটিকে অভিকর্ষীয় ত্বরণ বলে।

মনে কর, সুষম ত্বরণে চলিতেছে এমন কোন কণার

u = আদিবেগ,

v = অন্তবেগ,

t = যে সময়ের ব্যবধানে বেগ u হইতে v হইয়াছে, এবং

f = কণার ত্বরণ।

u, v, t, f রাশিগুলি একই পদ্ধতির এককে (ধর, সিজিএস্ এককে) দেওয়া আছে মনে করিতে হইবে। নহিলে উহাদের একই পদ্ধতির এককে প্রকাশ করিয়া নিও।

প্রতি সেকেণ্ডে বেগের পরিবর্তন f বলিয়া আরম্ভ হইতে এক সেকেণ্ড পরে বেগ $u+f$, দুই সেকেণ্ড পরে $u+2f$, n সেকেণ্ড পরে $u+nf$ ইত্যাদি হইবে। t সেকেণ্ডে বেগের পরিবর্তন ft। অতএব u এবং v-তে সম্পর্ক

$$\boxed{\mathbf{v = u + ft}} \tag{1-2.1}$$

সুষম ত্বরণে গতির এইটি **প্রথম সমীকরণ**।

দ্বিতীয় সমীকরণঃ যাত্রা আরম্ভের t_1 সেকেণ্ড পরে কণাটির বেগ $v_1 = u + ft_1$। শেষ মুহূর্তের t_1 সেকেণ্ড আগে উহার বেগ $v_2 = u + f(t - t_1)$। এই দুই বেগের গড় মান $= \frac{1}{2}\{(u + ft_1) + u + f(t - t_1)\} = \frac{1}{2}(u + v)$। ইহা হইতে দেখা যায় যে আরম্ভের যে কোন সময় পরে এবং শেষের ঠিক ততটা আগে কণার যে যে বেগ (অর্থাৎ v_1 ও v_2) উহাদের গড় স্থির রাশি (কারণ u ও v উভয়ের মান স্থির)। অতএব কণার গতিকাল t-কে আমরা যদি এ রকম জোড়া জোড়া মুহূর্তে ভাগ করি, তবে এ রকম প্রত্যেক যুগ্ম মুহূর্তের গড়বেগ হইবে $\frac{1}{2}(u + v)$। সুতরাং, আমরা ধরিতে পারি কণাটি যেন আগাগোড়া সমস্ত পথটা এই গড়বেগে চলিয়াছে। গতিকাল t ও গড়বেগ $\frac{1}{2}(u + v)$ হওয়ায় মোট অতিক্রান্ত পথ

$$s = \tfrac{1}{2}(u + v)\,t = \tfrac{1}{2}(u + u + ft)\,t$$

বা, $$\boxed{\mathbf{s = ut + \tfrac{1}{2}ft^2}} \tag{1-2.2}$$

ইহাই **দ্বিতীয় সমীকরণ**। এই দুটি সমীকরণ হইতে আরও দুটি খুব প্রয়োজনীয় সমীকরণ পাওয়া যায়। প্রথম সমীকরণ হইতে পাই

$$v^2=(u+ft)^2=u^2+2uft+f^2t^2=u^2+2f(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)=u^2+2fs$$

বা, $$\boxed{\mathbf{v^2-u^2=2fs}} \tag{1-2.3}$$

ইহা **তৃতীয় সমীকরণ**। লক্ষ্য কর, ইহাতে t নাই। ইহা আদিবেগ, অন্তবেগ, ত্বরণ ও অতিক্রান্ত দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক। অনেক ক্ষেত্রে ইহার প্রয়োগ দরকার হইবে।

চতুর্থ সমীকরণ হইল কণাটি বিশেষ কোন সেকেণ্ডে, ধর n-তম সেকেণ্ডে, কতটা পথ চলিয়াছে সেই সংক্রান্ত। এই দূরত্ব হইল কণাটি n সেকেণ্ডে যে s_n পথ অতিক্রম করে, এবং $n-1$ সেকেণ্ডে যে s_{n-1} পথ যায়, এই দুই পথের বিয়োগফল। অতএব নির্ণেয় দূরত্বের মান s_n-s_{n-1}। 1-2.2 সমীকরণে t-র বদলে n লিখিয়া s_n পাইব, এবং $n-1$ লিখিয়া s_{n-1} পাইব। অতএব

n-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ

$$=s_n-s_{n-1}=(un+\tfrac{1}{2}fn^2)-\{u(n-1)+\tfrac{1}{2}f(n-1)^2\}$$
$$=\mathbf{u+\tfrac{1}{2}f(2n-1)} \tag{1-2.4}$$

1-2.1 হইতে 1-2.4 পর্যন্ত সমীকরণ চারটি সরলরেখায় সুষম ত্বরণে চলন্ত কণার গতির সম্পূর্ণ বর্ণনা দেয়। ইহাদের প্রথম দুটিই মৌলিক; পরের দুটি প্রথম দুটির অনুসিদ্ধান্ত (corollary)।

[বলবিজ্ঞানের শুদ্ধগতিবিজ্ঞান (kinematics) বিভাগে কেবল গতির আলোচনা করা হয়; গতির কারণ কি তাহা দেখা হয় না। এখানে আলোচিত সমীকরণ কয়টি শুদ্ধগতিবিজ্ঞানের গোড়ার সমীকরণ।]

প্রশ্ন। (১) কোন কণা স্থির অবস্থা হইতে সুষম ত্বরণে যাত্রা শুরু করিলে 3·5 সেকেণ্ডে উহার বেগ হয় 42 cm/s। কণার ত্বরণ কত?

[সমাধান—আদিতে কণা স্থির ছিল বলিয়া $u=0$। অন্তবেগ $v=42$ cm/s এবং $t=3{\cdot}5$s। অতএব 1-2.1 সমীকরণ অনুসারে $f=v/t=42\text{ cm s}^{-1}/3{\cdot}5\text{s}=12\text{ cm s}^{-2}$ (বা 12 cm/s²)।]

(২) 3 সেকেণ্ডে প্রথম প্রশ্নের কণা কতদূর যাইবে?

[সমাধান—1-2.2 সমীকরণে বিভিন্ন রাশির মান বসাও। $s=0\times3{\cdot}5\text{ cm/s}+\tfrac{1}{2}\times12(\text{cm/s}^2)\times(3\text{s})^2=54$ cm.]

(৩) কোন কণার ত্বরণ 4 m/s^2। স্থির অবস্থা হইতে 200 m গেলে ইহার বেগ কত হইবে?

[সমাধান—1-2.3 সমীকরণ প্রয়োগ কর। এখানে $u=0$। অতএব $v^2=2fs=2\times4(\text{m/s}^2)\times200\text{ m}=1600\text{ m}^2/\text{s}^2$, বা $v=40$ m/s।]

(৪) কোন কণা তৃতীয় সেকেণ্ডে 25 cm এবং ষষ্ঠ সেকেণ্ডে 55 cm পথ যায়। আট সেকেণ্ডে উহা কতদূর যাইবে?

[সমাধান—1-2.4 সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া সিজিএস্ এককে পাই

$$25=u+(5/2)f \text{ এবং } 55=u+(11/2)f।$$

এই দুই সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় $u=0$ এবং $f=10\text{ cm/s}^2$।

অতএব আট সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ $s=\tfrac{1}{2}\times10(\text{cm/s}^2)\times(8\text{s})^2=320$ cm.]

অভিকর্ষাধীন গতি। অভিকর্ষের (পৃথিবীর আকর্ষণের) ক্রিয়ায় সকল বস্তু বিনা বাধায় চলিতে পারিলে উহাদের প্রত্যেকের একই ত্বরণ হইবে। ইহার মান $g=980$ cm/s^2 ধরা যায়। নিচে এরূপ গতি ধরিয়া কয়েকটি প্রশ্নের সমাধান দেখা হইল। এক্ষেত্রে আমরা 1-2.1 হইতে 1-2.4 সমীকরণগুলিতে s-এর বদলে h এবং f-এর বদলে g লিখিব।

(ক) পতন। উপর হইতে কোন বস্তু ছাড়িয়া দিলে উহার পড়ার সমীকরণ হইবে $h=\frac{1}{2}gt^2$। h অর্থে ছাড়ার স্থান হইতে বস্তুটি t সময়ে কতটা পড়িল তাহা বুঝায়। বস্তুটি u বেগে নিচে নিক্ষেপ করিলে সমীকরণ হইবে $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$।

(খ) উত্থান। কোন বস্তুকে খাড়াভাবে u-বেগে উর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত করিলে উহার গতির সমীকরণ হইবে $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$। এক্ষেত্রে h উৎক্ষেপ বিন্দু হইতে t সময় পরে উচ্চতা বুঝায়। u বেগ উর্ধ্বমুখী ও g ত্বরণ নিম্নমুখী বলিয়া g-কে নিগেটিভ ধরা হয়, কারণ উহা উর্ধ্বগতি কমায়।

প্রশ্ন। (১) স্থির অবস্থা হইতে কোন বস্তু 5 সেকেণ্ডে কতটা নিচে পড়িবে? ($g=9{\cdot}8$ m/s^2)।
[উঃ 122·5 m.]

(২) উহাকে 10 m/s বেগে খাড়া নিচে নিক্ষেপ করিলে 5 সেকেণ্ডে উহা কতটা পড়িবে?
[উঃ 172·5 m.]

(৩) 20 m/s বেগে কোন বস্তু খাড়া উপরে উৎক্ষেপ করিলে, (ক) উহা কত উপরে উঠিবে? (খ) উঠিতে কত সময় নিবে? (গ) চরম উচ্চতার অর্ধেক উচ্চতা উঠিতে উহা কত সময় নিবে এবং তখন বেগ কত হইবে?

[সংকেতঃ (ক) উর্ধ্বতম বিন্দুতে $v=0$। $v^2-u^2=-2gh$ সমীকরণে $v=0$ বসাইয়া h বাহির কর। ইহাই নির্ণেয় উচ্চতা; ইহার মান $(20\times20)/(2\times9{\cdot}8)$ m। (খ) উর্ধ্বতম বিন্দুতে $v=0$ হইবে; $u-gt=v$ বলিয়া উর্ধ্বতম বিন্দুতে উঠিতে $t=u/g=20/9{\cdot}8$ সেকেণ্ড সময় লাগিবে। (গ) চরম উচ্চতার অর্ধেক প্রায় 10·4 m। $10{\cdot}4=20t-\frac{1}{2}\times9{\cdot}8\times t^2$ সমীকরণ হইতে t-র মান বাহির কর। দুটি মান পাইবে। যেটি ছোট সেটি উঠিবার সময়; অন্যটি নামিবার সময়।]

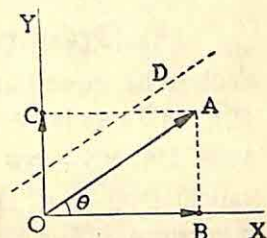
1-3. স্কেলার ও ভেকটর রাশি (Scalars and vectors)। যে সকল রাশির কেবল মান আছে কিন্তু সংশ্লিষ্ট কোন দিক্ নাই, তাহাদের **স্কেলার (scalar)** বা অদিশ রাশি বলে। স্কেলার রাশি একটিমাত্র সংখ্যার সাহায্যে বুঝান যায়; উপযুক্ত এককের সঙ্গে যুক্ত থাকিয়া এই সংখ্যা রাশিটিকে প্রকাশ করে। কোন ভর 10 kg বলিলেই উহার বর্ণনা সম্পূর্ণ হয়। kg এককে 10 সংখ্যাটি রাশির মান। ভর, কাল, আয়তন প্রভৃতি স্কেলার রাশি।

যে সকল রাশির মান ও সংশ্লিষ্ট একটা দিক্ আছে তাহাদের **ভেকটর (vector)** বা সদিশ রাশি বলে। সরণ, বেগ, ত্বরণ, বল, ভরবেগ প্রভৃতি ভেকটর রাশি। উহাদের প্রত্যেকের মান ছাড়াও নির্দিষ্ট একটা দিক্ আছে। ভেকটরের সম্পূর্ণ বর্ণনায় মান এবং একক ছাড়া উহাদের দিক্‌ও বুঝাইতে হয়।

1-4. ভেকটরের বর্ণনা (Representation of vectors)। ভেকটরের সম্পূর্ণ বর্ণনা দুইভাবে করা যায়—(১) চিত্রের সাহায্যে রেখাংশ (Line segment)

দিয়া ও (২) কোন নির্দেশ তন্ত্রের বিভিন্ন অক্ষে উহার অভিক্ষেপ (projection) দিয়া। কোন অক্ষে কোন ভেকটরের অভিক্ষেপকে ঐ অক্ষে উহার **উপাংশ (component)** বলে।

(ক) রেখাংশের সাহায্যে ভেকটর চিত্রণ। ধর কোন দিকে একটি ভেকটর ক্রিয়া করিতেছে এবং উহার মান 10 একক। ছবিতে ইহা কিভাবে বুঝান যাইবে ?

প্রথমে, ভেকটরটির দিক্ যে সকল সমতলে আছে তাহার যে কোন একটি সমতল কল্পনা কর। তারপর ভেকটরের ক্রিয়ামুখের সমান্তরালে একটি রেখাংশ টান। উহার দৈর্ঘ্য এমন কর যাহাতে দৈর্ঘ্যের মান ভেকটরের মানের আনুপাতিক হয়। (রেখার 1 mm দৈর্ঘ্যে যদি ভেকটরের এক একক মান বুঝায় তবে আমাদের আলোচ্য ভেকটরের ক্ষেত্রে রেখাংশের দৈর্ঘ্য হইবে 10 mm।) ভেকটরটির ক্রিয়ার অভিমুখে একটি তীর চিহ্ন দাও। এই তীর চিহ্নিত রেখাংশ তোমার ভেকটরটি বুঝাইবে।

চিত্র 1·1

1·1 চিত্রের সঙ্গে উপরের বর্ণনা মিলাইয়া নাও। চিত্রের D রেখা ভেকটরের ক্রিয়ার রেখা এবং কাগজের সমতলে উহা আছে। উহার সমান্তরালে টানা OA রেখার দৈর্ঘ্য ভেকটরের মানের আনুপাতিক। ভেকটরের ক্রিয়ামুখ O হইতে A-র দিকে। এই অভিমুখে রেখাংশের শেষবিন্দু A-তে তীরচিহ্ন দেওয়া হইয়াছে। (তীরচিহ্ন O হইতে A-র দিকে রেখার যে কোন স্থানে দেওয়া যায় ; তবে সুবিধা থাকিলে সাধারণত শেষ বিন্দুতেই উহা দেওয়া হয়।) OA রেখাংশ আলোচ্য ভেকটরটি বুঝায়।

(খ) উপাংশের সাহায্যে ভেকটরের বর্ণনা। ইহা করিতে ভেকটরের আদি বিন্দু O-কে মূলবিন্দু ধরিয়া ইচ্ছামত দিকে OX রেখা টানিয়া কোন নির্দেশ তন্ত্রের X-অক্ষ বুঝাও। OX অক্ষ এবং OA রেখাংশের মধ্যবর্তী কোণ θ। OX-এর সমকোণে OY রেখা টানিয়া Y-অক্ষ বুঝাও। A হইতে X-অক্ষের উপর AB লম্ব এবং Y-অক্ষের উপর AC লম্ব টান। OB এবং OC যথাক্রমে X-অক্ষে ও Y-অক্ষে OA-র অভিক্ষেপ (projection)। OB রেখাংশ ও OC রেখাংশ দুই অক্ষে OA ভেকটরের উপাংশ (components)। OA রেখাংশকে $\overrightarrow{OA}$ রূপে লিখিলে বুঝায় উহা O হইতে A-র দিকে ক্রিয়াশীল একটি ভেকটর। $\overrightarrow{OB}$ ও $\overrightarrow{OC}$ উপাংশেরও অনুরূপ অর্থ। A অক্ষর দিয়া $\overrightarrow{OA}$ ভেকটর বুঝাইলে $\overrightarrow{OB}$ ও $\overrightarrow{OC}$ উহার X-অক্ষীয় ও Y-অক্ষীয় উপাংশ ; ইহাদের যথাক্রমে A_x ও A_y লেখা যায়। চিত্রের জ্যামিতিক সম্পর্ক হইতে দেখা যায় $A^2 = A_x{}^2 + A_y{}^2$। কোন নির্দেশতন্ত্র সাপেক্ষে কোন ভেকটর A-র উপাংশ A_x, A_y জানা থাকিলে ভেকটরটি সম্পূর্ণ জানা যায়। 1·1 চিত্র হইতে দেখা যায় $A_x = A\cos\theta$ এবং $A_y = A\sin\theta$। তা ছাড়া $A = \sqrt{A_x{}^2 + A_y{}^2}$;

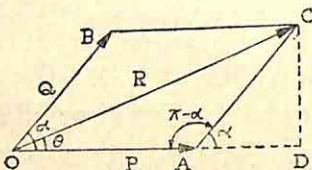
ইহা A ভেকটরের মান। ইহার ক্রিয়ামুখ X-অক্ষের সংগে θ কোণে আছে অর্থাৎ $\cos\theta = A_x/A$। এইভাবে উপাংশের (A_x, A_y) সাহায্যে A ভেকটরের বর্ণনা সম্পূর্ণ হয়।

ভেকটরের সমতলে নির্দেশতন্ত্র না নিয়া আমরা ত্রিমাত্রিক দেশে O-কে মূলবিন্দু ধরিয়া ইচ্ছামত ত্রি-অক্ষীয় সমকোণী নির্দেশতন্ত্রও নিতে পারিতাম। ভেকটরের শেষবিন্দু (A) হইতে নির্দেশতন্ত্রের তিন অক্ষে তিনটি লম্বপাত করিলে O হইতে অক্ষ-বরাবর এই লম্বগুলির দূরত্ব A_x, A_y, A_z যথাক্রমে তিনটি অক্ষে OA ভেকটরের তিনটি উপাংশ বুঝাইবে। এ ক্ষেত্রে $A^2 = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2$। X, Y, Z অক্ষের সঙ্গে OA ভেকটরের কোণ যথাক্রমে α, β, γ হইলে $\cos\alpha = A_x/A$, $\cos\beta = A_y/A$ এবং $\cos\gamma = A_z/A$। এইভাবে ত্রি-অক্ষীয় সমকোণী নির্দেশতন্ত্রের সাহায্যে যে কোন ভেকটরের মান ও দিক্ বুঝান যায়।

(গ) নির্দেশাংকের সাহায্যে ভেকটর বর্ণনা (Representation of vectors by co-ordinates)। ইহা কার্যত রেখাংশের সাহায্যেই বর্ণনা। কোন রাশি একটি ভেকটর তাহা বুঝাইতে উহার নির্দেশক চিহ্নকে মোটা, খাড়া (Roman) হরফে ছাপা হয়—যেমন **A**। **A** ভেকটরের মান বুঝাইতে |**A**| বা A (বাঁকা হরফ ; italics) লেখা হয়। ত্রি-অক্ষীয় সমকোণী কোন নির্দেশতন্ত্রে **A**-ভেকটর নির্দেশক রেখাংশের আদিবিন্দুর নির্দেশাংক x_1, y_1, z_1 এবং প্রান্ত বিন্দুর নির্দেশাংক x_2, y_2, z_2 ধরা যাক। তাহা হইলে $A_x = (x_2 - x_1)$, $A_y = (y_2 - y_1)$, $A_z = (z_2 - z_1)$। তা ছাড়া, |**A**| বা $A = \{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\}^{1/2}$ এবং $\cos\alpha = (x_2 - x_1)/A$, $\cos\beta = (y_2 - y_1)/A$, $\cos\gamma = (z_2 - z_1)/A$। এইভাবে ভেকটর নির্দেশী রেখাংশের আদি ও প্রান্ত বিন্দুর নির্দেশাংক হইতে ভেকটরটির মান ও দিক্ পাওয়া যায়। দ্বি-অক্ষীয় (সমতলীয়) নির্দেশতন্ত্র হইলে z নির্দেশাংক থাকিবে না।

প্রাথমিক স্তরে আমরা কেবল দ্বি-অক্ষীয় সমকোণী নির্দেশতন্ত্র ব্যবহার করিব। একসঙ্গে দুই বা ততোধিক ভেকটরের ক্রিয়া বিচারে ধরা হইবে ইহারা একই সমতলে।

1–5. ভেকটরের যোগ (Addition of vectors)। বীজগণিতের রাশির মত ভেকটরের যোগ করা যায় না। উহা একটি জ্যামিতিক নিয়ম অনুসারে হয়। এই নিয়মকে **যোগের সামান্তরিক সূত্র (Parallelogram law of addition)** বলে।

1·2 চিত্রের সাহায্যে ইহা বোঝা যাইবে। মনে কর, দুটি সমতলীয় ভেকটর **P** ও **Q** যোগ করিতে হইবে। উহাদের মান ও দিক্ যেন একই বিন্দু (O) হইতে টানা OA এবং OB রেখাংশ দুটি দিয়া নির্দেশ করা যায়। এবার OACB সামান্তরিক পূর্ণ করিয়া উহার OC কর্ণ (diagonal) টান। OC রেখাংশ **P** ও **Q**-র যোগফলের মান ও দিক্ নির্দেশ করিবে। যোগফলকে **লব্ধি (Resultant)** বলে। ইহাই ভেকটর রাশি যোগের সামান্তরিক সূত্র।

চিত্র 1·2

'বল', 'বেগ' বা অন্য কোন ভেকটর রাশি যোগ করিতে উপরের আলোচনায় 'ভেকটর' কথাটির বদলে দরকার মত 'বল', 'বেগ' প্রভৃতি আলোচ্য কথাটি বসাইও।

ভেকটর যোগের সামান্তরিক সূত্রের প্রমাণ আমরা আলোচনা করিব না। গণিতে উহা পাইবে। তবে জানিয়া রাখ যোগের নিয়ম একটি বিশেষ তত্ত্বের উপর নির্ভর করে। উহাকে **ভেকটরের স্বাতন্ত্র্যের তত্ত্ব (Principle of independence of vectors)** বলে। একাধিক ভেকটর একসঙ্গে ক্রিয়া করিলে একটির ক্রিয়া অন্য কোনটি দিয়া ব্যাহত হয় না—ইহাই ভেকটরের স্বাতন্ত্র্যের তত্ত্ব। বল, বেগ প্রভৃতি এরূপ স্বাতন্ত্র্যের তত্ত্ব মানিয়া চলে। ইহা আমাদের অভিজ্ঞতা লব্ধ। ধর নদী নির্দিষ্ট বেগে বহিয়া যাইতেছে। একখানা স্টীমার নদীর আড়াআড়ি নির্দিষ্ট বেগে চলিল। এ ক্ষেত্রে নদীর বেগ স্টীমারের বেগকে বদলাইতে পারে না, বা স্টীমারের বেগ নদীর বেগকে বদলাইতে পারে না। নদীর তীরে দাঁড়ান কোন দর্শক দেখিবেন স্টীমার দুই বেগের লব্ধি অনুসারে চলিতেছে।

লব্ধির মান ও দিক্ (Magnitude and direction of resultant)।

P ও Q-র লব্ধিকে R এবং P ও Q-র মধ্যবর্তী কোণকে α বলা যাক (1·2 চিত্র)। তাছাড়া, ধর, $\angle AOC=\theta$ এবং $\angle OCA=\phi$। C হইতে OA রেখার উপর CD লম্ব পাত কর। 1·2 চিত্র হইতে পাই

$$\begin{aligned} R^2 &= OC^2 = OD^2 + DC^2 = (OA+AD)^2 + DC^2 \\ &= OA^2 + (AD^2 + DC^2) + 2OA.AD \\ &= OA^2 + AC^2 + 2OA.AC \cos \alpha \\ &= P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha. \end{aligned} \tag{1-5.1}$$

R ও P-র মধ্যবর্তী কোণ θ হইলে

$$\tan \theta = \frac{CD}{OD} = \frac{AC \sin \alpha}{OA + AC \cos \alpha} = \frac{Q \sin \alpha}{P + Q \cos \alpha} \tag{1-5.2}$$

1-5.1 ও 1-5.2 সমীকরণ দুটি যথাক্রমে P ও Q-র লব্ধির মান ও দিক্ নির্দেশ করে। মনে রাখিও α হইল P ও Q-র মধ্যবর্তী কোণ।

ত্রিকোণমিতিতে (Trigonometry-তে) একটি উপপাদ্য পাইবে যাহাতে বলে 'কোন ত্রিভুজের দুই বাহুর অনুপাত উহাদের বিপরীত কোণের অনুপাতের সমান'।

এই উপপাদ্য হইতে পাই (1·2 চিত্র)

$$\frac{R}{\sin(\pi-\alpha)} = \frac{Q}{\sin \theta} = \frac{P}{\sin \phi} \tag{1-5.3}$$

লব্ধি নির্ণয়ে এ সম্পর্কটিও কাজের।

বল, বেগ, ভরবেগ, সরণ বা ত্বরণ প্রভৃতি যে কোন ভেকটর উপরোক্ত নিয়মগুলি অনুসারে যোগ হইবে। বলের ক্ষেত্রে $P=F_1$ ও $Q=F_2$ হইলে 1-5.1, 1-5.2 ও 1-5.3 সমীকরণে এই মানগুলি বসাইয়া আমরা F_1 ও F_2-র লব্ধি R-এর মান, দিক্

প্রভৃতি পাইব। দুটি বেগ u_1 ও u_2 যোগ করিতে অনুরূপে $P=u_1$ ও $Q=u_2$ বসাইব, ইত্যাদি। মনে রাখিও যোগের এই নিয়মের মূলে রহিয়াছে বল, বেগ প্রভৃতি সকলপ্রকার ভেকটরের স্বাতন্ত্র্য—'একজাতীয় একাধিক ভেকটর (যেমন বল, বেগ প্রভৃতি) একসঙ্গে একই কণার উপর ক্রিয়া করিলে, একের ক্রিয়া অন্যের ক্রিয়াকে ব্যাহত করে না'।

ভেকটর যোগের সামান্তরিক সূত্রটি ভাষায় এইভাবে বলা যায়—'একই বিন্দুতে একই সময়ে ক্রিয়াশীল দুটি ভেকটরের (বল, বেগ ইত্যাদির) মান ও দিক্ কোন সামান্তরিকের এক কোনা হইতে টানা বাহু দুইটি দিয়া নির্দেশ করা গেলে, সামান্তরিকের ঐ কোনা হইতে টানা কর্ণ ঐ দুটি ভেকটরের (বল, বেগ ইত্যাদির) লব্ধির মান ও দিক্ নির্দেশ করিবে।' বল বা বেগের ক্ষেত্রে ইহাকে **বল বা বেগের সামান্তরিক সূত্র (Law of parallelogram of forces, or velocities)** বলে।

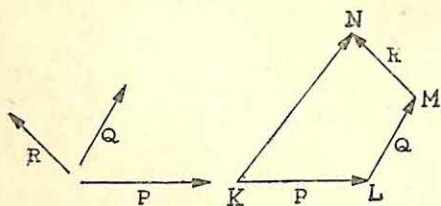
প্রশ্ন। (১) নৌকায় দুগাছা দড়ি বাঁধিয়া খালের দুপার দিয়া দড়ি টানিয়া নৌকা চালান হইতেছে। জলের স্রোতের সঙ্গে প্রত্যেকগাছা দড়ি 30° কোণে আছে। প্রত্যেক দড়িতে টান 50 kg। দুই টানের লব্ধি কত এবং উহা কোন্ দিকে?

[সংকেত—বল সামান্তরিক ও লব্ধি আঁক। উ: 86·6 kg ; $\theta=30°$।]

(২) 3 g ও 4 g ওজনের সমান দুট বল একই কণার উপর ক্রিয়া করে। উহাদের মধ্যবর্তী কোণ কত হইলে লব্ধির মান (ক) 7 g, (খ) 6 g, (গ) 5 g, (ঘ) 4 g ও (ঙ) 1 g ওজনের সমান হইবে? [উ: (ক) 0°, (খ) 62°42′, (গ) 90°, (ঘ) 131°48′, (ঙ) 180°।]

(৩) একখানা স্টীমার ঘন্টায় 12 কিলোমিটার বেগে উত্তরদিকে যাইতেছে। একটি লোক স্টীমারের ডেকের উপর পুবদিকে ঘন্টায় 5 কিলোমিটার বেগে হাঁটিতেছে। নদীর তীরে অবস্থিত কোন লোকের কাছে লোকটির বেগ কত এবং কোন্ দিকে?

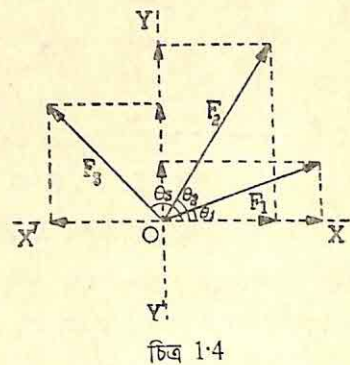
[সংকেত—$P=12$ km/hr, $Q=5$ km/hr এবং $\alpha=90°$ বসাইয়া 1-5.1 সমীকরণ হইতে লোকটির বেগের মান, ও 1-5.2 সমীকরণ হইতে তাহার গতির দিক্ পাইবে। $R=13$ km/hr ; গতির দিক্ স্টীমারের গতির দিকের সঙ্গে θ-কোণ করিলে $\tan\theta=5/12$।]

1–5.1. দুই বা ততোধিক ভেকটরের যোগ। ভেকটর যোগ করাকে **'ভেকটরের সংশ্লেষণ' (Composition of vectors)**-ও বলে। দুইএর বেশী ভেকটর যোগ করিতে সামান্তরিক সূত্রের পৌন:পুনিক প্রয়োগ করা চলে। অন্য উপায়ও আছে। 1·3 চিত্রের সাহায্যে তাহার একটি উপায় বোঝা যাইবে। ইহাকে যোগের **জ্যামিতিক উপায় (Geometrical method of addition)** বলা যায়।

চিত্র 1·3

1·3 চিত্রে P, Q, R তিনটি সমতলীয় ভেকটর। উহাদের দুটির লব্ধি বাহির করিয়া সেই লব্ধির সঙ্গে তৃতীয়টি যোগ করিয়া অবশ্যই ঈপ্সিত ফল পাওয়া যায়। একই ফল পাইতে অন্যভাবে চিত্রাঙ্কন করা যায়। ডানদিকের ছবিটি হইতে উহা বোঝা যাইবে।

প্রথমে একটি ভেকটর (ধর P) নির্দেশক রেখাংশ KL টান। P-র শেষবিন্দু (L) হইতে অন্য একটির (ধর Q-র) নির্দেশক রেখাংশ LM টান। এইভাবে ক্রমশ একটি ভেকটরের শেষবিন্দুতে অন্য ভেকটরের আদিবিন্দু ফেলিয়া পর পর সব কয়টি ভেকটর রেখাংশ টান। এখন প্রথম ভেকটরের আদিবিন্দুর (K-র) সঙ্গে শেষ ভেকটরের শেষবিন্দু (N) যোগ কর। এই রেখাংশ (KN) সব কয়টি ভেকটরের যোগফল বা লব্ধি বুঝাইবে। 1·3 চিত্রে P, Q, R যোগ করিয়া এইভাবে লব্ধি পাই KN রেখাংশ। ইহার অভিমুখ K হইতে N-এর দিকে। যে কোন সংখ্যক ভেকটরকে এইভাবে যোগ করা যায়। (ভেকটরগুলি এক সমতলে না থাকিলেও এরূপ চিত্রণ শুদ্ধ ফল দেয়। কোন্ ভেকটরটি আগে নেওয়া হইল, কোন্‌টি পরে নেওয়া হইল, তাহাতে কিছু আসে যায় না ; ফল একই হয়)।

1-5.2. উপাংশের সাহায্যে যোগ (Analytical method of addition)। ভেকটরের উপাংশ বলিতে কি বুঝায় তাহা 1-4(খ) বিভাগে আলোচিত হইয়াছে। সমতলীয় দুই বা ততোধিক ভেকটর যোগ করিতে ঐ সমতলে দুইটি সমকোণী অক্ষ টানিয়া প্রত্যেক অক্ষে প্রত্যেক ভেকটরের উপাংশ হিসাব কর। X-অক্ষ সুবিধা-মত যে কোন দিকে নেওয়া যায়। সবগুলি ভেকটরের X-উপাংশগুলি ও Y-উপাংশগুলি আলাদা আলাদা বীজগণিতের নিয়ম অনুসারে যোগ কর। X-উপাংশগুলির যোগফল R_x এবং Y-উপাংশগুলির যোগফল R_y হইলে সবগুলি ভেকটরের যোগফল (লব্ধি) হইবে $R=\sqrt{R_x^2+R_y^2}$।

1·4 চিত্রে এই উপায়ে যোগের একটি উদাহরণ দেওয়া হইয়াছে। ধর সমতলীয় তিনটি বল F_1, F_2 ও F_3 যোগ করিতে হইবে। O বিন্দু হইতে তিনটি রেখাংশ দিয়া উহাদের নির্দেশ করিলাম। সুবিধামত X-অক্ষ (OX) নেওয়া হইল। X-অক্ষের সঙ্গে বল তিনটির কোণ যথাক্রমে θ_1, θ_2 ও θ_3। তাহা হইলে X-উপাংশগুলির যোগফল $F_1 \cos\theta_1+F_2\cos\theta_2+F_3\cos\theta_3$ $=\Sigma F_x=R_x$। (F_x F-এর X-উপাংশ বুঝায়। Σ গ্রীক অক্ষর, উচ্চারণ সিগ্‌মা। ΣF_x বুঝায় F_x-রূপী সকল রাশির যোগফল। R_x লব্ধি R-এর X-উপাংশ।) অনুরূপে Y-উপাংশ F_y গুলির যোগফল $F_1\sin\theta_1+F_2\sin\theta_2+F_3\sin\theta_3=\Sigma F_y=R_y$। F_1, F_2, F_3-র লব্ধি যদি R হয় তবে

চিত্র 1·4

$$R=\sqrt{R_x^2+R_y^2}=\sqrt{(\Sigma F_x)^2+(\Sigma F_y)^2} \qquad (1\text{-}5.4)$$

R X-অক্ষের সঙ্গে α কোণ করিলে

$$\tan\alpha=R_y/R_x=\Sigma F_y/\Sigma F_x \qquad (1\text{-}5.5)$$

প্রশ্ন। $F_1 = 60$ dyn, $F_2 = 100$ dyn, $F_3 = 75$ dyn তিনটি সমতলীয় বল। F_1, F_2-তে কোণ 60° এবং F_1, F_3-তে কোণ 135°। উহাদের লব্ধির মান ও দিক্ বাহির কর।

সমাধান : X অক্ষ F_1 অভিমুখে ও Y অক্ষ তাহার অভিলম্বে নাও। হিসাব ও ফল নিচের মত সারণির আকারে লেখা সুবিধার হইবে।

বল	কোণ	X-উপাংশ $= F \cos\theta$	Y-উপাংশ $= F \sin\theta$
$F_1 = 60$ dyn	0°	+60 dyn	0
$F_2 = 100$ dyn	60°	+50 dyn	+86·6 dyn
$F_3 = 75$ dyn	135°	−53 dyn	−53 dyn
		$\Sigma F_x = +57$ dyn	$\Sigma F_y = 33·6$ dyn

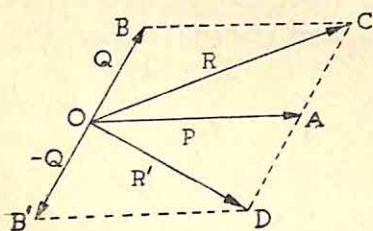
$R = \sqrt{(57 \text{ dyn})^2 + (33·6 \text{ dyn})^2} = 66$ dyn

$\tan\alpha = \Sigma F_y / \Sigma F_x = 33·6 \text{ dyn}/57 \text{ dyn} = 0·589$ বা $\alpha = 30·4°$।

অনুশীলনী। 60° তে আনত দুইটি সমান বল একই কণার উপর ক্রিয়া করে। উহাদের মধ্যবর্তী কোণের সমদ্বিখণ্ডক ও তাহার অভিলম্বে বলের উপাংশ বাহির করিয়া লব্ধির মান ও দিক্ বাহির কর।

[উঃ মান যে কোন বলের $\sqrt{3}$ গুণ। দিক্ কোণের সমদ্বিখণ্ডক বরাবর।]

1-5.3. ভেকটর রাশি বিয়োগের সূত্র (Subtraction of vectors)।

P ভেকটর হইতে Q ভেকটর বিয়োগ করা অর্থ P-র সঙ্গে Q-র সমান ও বিপরীত ভেকটর $-Q$ যোগ করা। P এবং $-Q$ নির্দেশক দুই রেখাংশকে দুই বাহু করিয়া সামান্তরিকের ঐ কোনা হইতে কর্ণ আঁক। এই কর্ণ P ও Q-র বিয়োগফলের মান ও দিক্ নির্দেশ করিবে। $P = \text{OA}$ রেখাংশ ও $Q = \text{OB}$ রেখাংশ হইলে $P - Q = \text{BA}$ রেখাংশ হইবে। একই প্রকার অংকনে পাই $Q - P = \text{AB}$ রেখাংশ।

চিত্র 1·5

1·5 চিত্রে P ও Q ভেকটর দুটির যোগফল R এবং বিয়োগফল $(P - Q) = R'$ কিরূপ অংকনে পাওয়া যায় তাহা দেখান হইয়াছে। লক্ষ্য কর বিয়োগফল যোগ-সামান্তরিকের অন্য কর্ণের সমান।

1-5.4. ভেকটর সংযোজন ও বিভাজন (Composition and resolution of vectors)।

ভেকটরের সংযোজন (Composition) বলিতে ভেকটরের যোগ বুঝায়। ইহা 1-5 ও 1-5.1 বিভাগে আলোচিত হইয়াছে। **ভেকটর বিভাজন** (Resolution of vectors) বলিতে কোন ভেকটরকে দুই অক্ষে এমনভাবে ভাগ করা বুঝায় যাহাতে উপাংশ দুইটির যোগফল প্রদত্ত ভেকটরের সমান হয়। 1·1 চিত্রে OA ভেকটর X ও Y অক্ষে OB ও OC এই দুই উপাংশে বিভক্ত হইয়াছে। OB ও

OC-র যোগফল যে OA তাহা ভেকটর যোগের নিয়ম অনুসারে সহজেই বুঝিতে পার।

ভেকটরের বিভক্তাংশ (Resolved part of a vector)। কোন বিশেষ দিকে কোন ভেকটরের বিভক্তাংশ বলিতে ঐ দিকে ভেকটরটির কার্যকর অংশ বুঝায়। ইহার মান পাইতে প্রদত্ত দিক্‌কে X-অক্ষ ধর এবং উহার সংগে ভেকটরের কোণ θ ধর। ভেকটরটি A দিয়া বুঝাইলে প্রদত্ত দিকে উহার বিভক্তাংশ হইবে

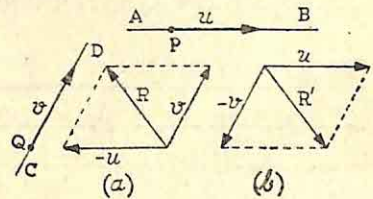
$$A_x = A \cos \theta \qquad (1\text{-}5.6)$$

[সমকোণী অক্ষ হইলে উপাংশ ও বিভক্তাংশে কোন প্রভেদ থাকে না। কিন্তু নির্দেশতন্ত্রের অক্ষ সমকোণে না নিয়া অন্য কোণেও নেওয়া যায়। তখন উহার কোন অক্ষে উপাংশ ঐ অক্ষের বিভক্তাংশের সমান হয় না। বিভক্তাংশ পাইতে 1-5.6 সমীকরণ সব সময়ই প্রযোজ্য।]

1·1 চিত্রে মনে কর OA রেখাংশ R বল বুঝায়। OB ও OC রেখাংশ ধর P ও Q বল বুঝায়। বলের স্বাতন্ত্র্যের তত্ত্ব অনুসারে Q-র অভিমুখে P-র কোন ক্রিয়া থাকিবে না। কিন্তু P ও Q-র যোগফল হইল R। অতএব প্রদত্ত OX দিকে $P = R \cos \theta$ R-বলের বিভক্তাংশ। এইজন্য বিভক্তাংশকে আমরা কার্যকর অংশ বলিয়া সংজ্ঞা দিয়াছি।

একটি সহজ উদাহরণ ধর। মনে কর রেল লাইনের উপর একখানা গাড়ি (wagon) দাঁড়ান আছে এবং গাড়ির সংগে দড়ি বাঁধিয়া গাড়ি টানা হইতেছে। দড়িগাছা রেল লাইনের সংগে যেন 30° কোণে আছে। দড়ির টান T ভেকটর রাশি। টানকে লাইন বরাবর এবং তাহার সমকোণে দুই অংশে বিভক্ত কর। লাইন বরাবর যে বিভক্তাংশ (অর্থাৎ $T \cos 30°$) তাহা গাড়িকে লাইন বরাবর সরাইবে। অন্য বিভক্তাংশ লাইনের অভিলম্বে ক্রিয়া করায় তাহার জন্য গাড়ি লাইনে সরিবে না। $T \cos \theta$-ই T টানের কার্যকর অংশ।

1-6. আপেক্ষিক বেগ ও ত্বরণ (Relative velocity and acceleration)। গতির আলোচনা করিতে আমরা সাধারণত পরিপার্শ্ব সাপেক্ষে দর্শক স্থির আছেন মনে করি। কিন্তু দর্শক নিজেই সচল হইলে অন্য সচল বস্তুর গতিকে তিনি কিরূপ দেখিবেন? দুইটি সচল বস্তুর মধ্যে পারস্পরিক গতিকে **আপেক্ষিক গতি** বলে।

স্থির দর্শক সাপেক্ষে উভয় বস্তুর গতি জানা থাকিলে উহাদের আপেক্ষিক গতি ভেকটরের বিয়োগের নিয়ম (1-5.3 বিভাগ) অনুসারে সহজেই বাহির করা যায়। ধর AB এবং CD রেখায় (1·6 চিত্র) P ও Q বস্তু দুইটি যথাক্রমে u ও v বেগে চলিতেছে। P হইতে Q-র গতি কেমন দেখাইবে? (মনে কর P ও Q সমুদ্রে u ও v বেগে চলন্ত দুখানা জাহাজ)।

চিত্র 1·6

P সাপেক্ষে Q-র গতি বাহির করিতে উভয়কে $-u$ গতি দাও। (ইহার অর্থ সমুদ্রে উহারা যেখানে চলিতেছে যেখানে জলে $-u$ বেগ থাকা। ইহাতে তীরে

অবস্থিত দর্শক P-কে স্থির দেখিবেন; তখন Q-র গতি যেমন দেখাইবে তাহাই P সাপেক্ষে Q-র গতি।) ইহা করিলে P স্থির হইয়া গেল এবং Q-র একই সময় $-u$ এবং v দুইটি বেগ রহিল। v ভেকটর হইতে u ভেকটর বিয়োগ করিলে আমরা P সাপেক্ষে Q-র গতি পাইব। 1·6(*a*) চিত্রে এই গতি R।

Q সাপেক্ষে P-র গতি জানিতে চাহিলে Q-কে থামাইয়া দিতে হইবে, অর্থাৎ উভয় গতির সঙ্গে Q-র বিপরীত গতি $-v$ যোগ করিবে। ইহা u হইতে v বিয়োগ করা। 1·6(*b*) চিত্রে প্রয়োজনীয় জ্যামিতিক অংকনে পাওয়া যায় নির্ণেয় গতি $R' = u - v$। ইহা R-এর বিপরীত।

আলোচনার ফল আমরা সহজেই মনে রাখিতে পারি। 'আপেক্ষিক গতি পাইতে দৃষ্ট বস্তুর গতি হইতে দর্শকের গতি ভেকটরের নিয়ম অনুসারে বিয়োগ কর'। (বিয়োগ করা অর্থ যে উলটাইয়া যোগ করা এ কথা আশা করি ভুলিবে না।)

দুই বস্তু বিভিন্ন ত্বরণে চলিলে উহাদের আপেক্ষিক ত্বরণ সম্বন্ধেও একই উপায় প্রযোজ্য। দর্শকের ত্বরণ উলটাইয়া উহা দৃষ্টের ত্বরণের সংগে যোগ কর।

প্রশ্ন। (১) একখানা জাহাজ 9 km/hr বেগে পূবদিকে ও অন্য একখানা জাহাজ দক্ষিণদিকে 12 km/hr বেগে যাইতেছে। দ্বিতীয় জাহাজ হইতে প্রথমটির গতির মান ও দিক্ কত দেখাইবে?

[উঃ গতি উত্তর হইতে পূবদিকে θ কোণে হেলিয়া; $\tan\theta = 3/4$। গতির মান 15 km/hr।]

(২) সাইকেলে তুমি অনুভূমে 10 km/hr বেগে যাইতেছ। কোন বায়ুপ্রবাহ না থাকা সত্ত্বেও পড়ন্ত বৃষ্টির ফোঁটাগুলি তোমার কাছে মনে হইতেছে উল্লম্বের সঙ্গে 10° কোণ করিয়া পড়িতেছে। বৃষ্টির ফোঁটার বেগ কত? [উঃ 56·8 km/hr]

(৩) কোন এরোপ্লেনের পাইলট অনুভূমে 160 km/hr বেগে ঠিক দক্ষিণ-পূর্ব দিকে যাইতে যাইতে দেখিলেন মাটিতে একখানা ট্রেন ঠিক উত্তরদিকে যাইতেছে। তিনি জানেন যে এ রেল লাইন ঠিক পূব-পশ্চিমে পাতা। ট্রেনের বেগ বাহির কর। [উঃ 113 km/hr]

(৪) কোন ট্রেন ঠিক উত্তরদিকে 32 km/hr বেগে চলিতেছে। ট্রেনের আরোহী দেখিলেন বাতাস তাহার গায়ে ঠিক পূবদিক্ হইতে আসিয়া লাগিতেছে। ট্রেনের বেগ বাড়িয়া 64 km/hr হইলে বাতাস ঠিক উত্তর-পূব হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয়। বাতাসের বেগ কত?

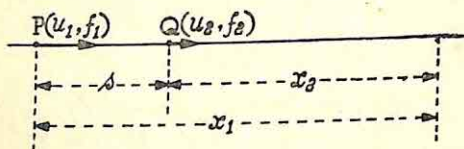
[উঃ দক্ষিণ-পূবদিক্ হইতে 45 km/hr বেগে]

একই সরল রেখায় দুইটি ত্বরিত কণার আপেক্ষিক গতি (Relative motion in the same straight line with acceleration)।

মনে কর P ও Q দুইটি কণা যথাক্রমে আদিবেগ u_1 ও u_2 এবং ত্বরণ f_1 ও f_2 নিয়া একই সরলরেখায় চলিতেছে (1·7 চিত্র)। আদিতে তাহাদের পারস্পরিক দূরত্ব যেন s। P যেন x_1 দূরত্ব চলিয়া Q-কে ধরিয়া ফেলিল। এই সময়ে Q মনে কর x_2 দূরত্ব যায়। তাহা হইলে

চিত্র 1·7

$$x_1 = u_1 t + \tfrac{1}{2} f_1 t^2 \text{ ও } x_2 = u_2 t + \tfrac{1}{2} f_2 t^2.$$

$$\therefore \quad s = x_1 - x_2 = (u_1 - u_2)\, t + \tfrac{1}{2}(f_1 - f_2)\, t^2 \qquad (1\text{-}6.1)$$

Q স্থির থাকিয়া P উহার দিকে $(u_1 - u_2)$ বেগে ও $(f_1 - f_2)$ ত্বরণে চলিলে এই ফলই পাইতাম। (Q-র বেগ ও ত্বরণ উলটাইয়া দিয়া উহা P-র বেগ ও ত্বরণের সঙ্গে যোগ করা হইল। দর্শক যেন Q-তে এবং তিনি P-র আপেক্ষিক গতি দেখিতেছেন।)

প্রশ্ন। (১) অনেক উঁচু হইতে একটি ঢিল ছাড়িয়া দিয়া 3 সেকেণ্ড পরে আর একটি ঢিল 45 m/s বেগে খাড়া নিচে ছুড়িয়া দেওয়া হইল। দ্বিতীয়টি প্রথমটিকে কোথায় ধরিয়া ফেলিবে? অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g = 980$ cm/s² ধর।

সমাধান। প্রথম ঢিলটিকে Q ও দ্বিতীয়কে P ধরিবে। দ্বিতীয় ঢিলটি ছোড়ার সময় প্রথম ঢিলটি $h = \frac{1}{2} \times 980 \times (3)^2$ cm $= 4410$ cm পড়িয়াছে। (ইহা 1-6.1 সমীকরণের s।) প্রথম ঢিলটি এই সময় বেগ পাইয়াছে $3 \times 980 = 2940$ cm/s। অতএব $u_2 = 2940$ cm/s, $u_1 = 4500$ cm/s। $g = 980$ cm/s² উভয় ক্ষেত্রে সমান। অতএব $t = s/(u_1 - u_2) = 4410/(4500 - 2940) =$ মোটামুটি 2·8 s। প্রথম ঢিলটি স্থির অবস্থা হইতে আরম্ভ করিয়া $3 + 2{\cdot}8 = 5{\cdot}8$ সেকেণ্ড পড়ার পর দ্বিতীয় ঢিলটি উহাকে ধরিয়া ফেলিয়াছে। এই সময়ে প্রথম ঢিলটি তাহার আদি বিন্দু হইতে $h_2 = \frac{1}{2}gt^2 = 490 \times (5{\cdot}8)^2$ cm পথ পড়িয়াছে।

(২) কোন লিফ্‌ট 2 m/s² ত্বরণে উপরে উঠিতেছে। উহার বেগ যখন 8 m/s তখন উহার ভিতরের ছাদ হইতে একটি লোহার টুকরা পড়িয়া গেল। লিফ্‌টের খাড়াই 3 m হইলে উহা মেজেয় পৌঁছিতে কত সময় নিবে এবং উহা কত দূরত্ব পড়িবে? (অভিকর্ষীয় ত্বরণ = 980 cm/s²)। [পড়ার সময় লোহার টুকরা ও মেজের বেগ সমান। পরে লোহার ত্বরণ নিচের দিকে 980 cm/s² ও লিফটের মেজের ত্বরণ উপর দিকে 2 m/s²।]

1–7. নিউটনের গতিসংক্রান্ত সূত্র (Newton's laws of motion)।

বলবিজ্ঞান নিউটনের তিনটি সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত। সূত্র তিনটির সঙ্গে আগেই তোমাদের পরিচয় হইয়াছে। এখানে সূত্র তিনটি বলিয়া আমরা সংক্ষিপ্ত আলোচনা করিব।

প্রথম সূত্র। বাহির হইতে প্রযুক্ত বলে অবস্থার পরিবর্তন করিতে বাধ্য না হইলে অচল বস্তু অচল অবস্থায়ই থাকিবে, এবং সচল বস্তু সুষম বেগে সরলরেখায় চলিতে থাকিবে।

দ্বিতীয় সূত্র। ভরবেগ পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক, এবং বল যে দিকে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তনও সেই দিকে ঘটে।

তৃতীয় সূত্র। প্রত্যেক ক্রিয়ার একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া থাকে, অর্থাৎ ক্রিয়া (action) ও প্রতিক্রিয়া (reaction) সমান ও বিপরীত।

1–7.1. প্রথম সূত্রের আলোচনা। প্রথম সূত্রটি নিউটনের নামের সঙ্গে জড়িত হইলেও, নিউটনের (1642-1727) আগেই গ্যালিলিও (1564-1642) এই সিদ্ধান্তে আসেন। ইহাকে অনেকে **জড়তার সূত্র** (Law of inertia) বলেন। সূত্রটি হইতে বোঝা যায় আপনা হইতে স্থিতি বা গতির অবস্থা পরিবর্তন করার ক্ষমতা কোন পদার্থের নাই। ইহা পদার্থ মাত্রেরই ধর্ম; এই ধর্মকে পদার্থের **জড়তা** বা **জাড্য** (Inertia) নাম দেওয়া হইয়াছে।

সূত্রটি **বলের সংজ্ঞা**ও নির্দেশ করে। বল তাহাকেই বলিব যাহা পদার্থের জড় অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে পারে, অর্থাৎ স্থির বস্তুকে সচল করিতে বা সচল বস্তুর গতির পরিবর্তন করিতে পারে।

সূত্রে বলিয়াছে বল প্রযুক্ত না হইলে অচল বস্তু অচলই থাকিবে। ইহা আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা এবং এ উক্তির সত্যতা সম্বন্ধে আমাদের কোন সন্দেহ নাই। কিন্তু বল প্রযুক্ত না হইলে সচল বস্তু সুষম বেগে সরলরেখা ধরিয়া চলিবে, এরূপ প্রত্যক্ষ অভিজ্ঞতা আমাদের নাই। আমরা দেখি সকল বস্তুই চলিতে গেলে ঘর্ষণজনিত বাধা পায়। কাজেই উহার গতি বলমুক্ত গতি নয়। বলমুক্ত গতি আমরা সৃষ্টি করিতে পারি না। তবে দেখিতে পাই ঘর্ষণ যত কমান যায় এবং বস্তু যে সমতলে চলে তাহা যত মসৃণ হয়, বস্তুটি সরলরেখায় ততই দীর্ঘতর পথ চলে। ইহা হইতে আমরা কল্পনা করি ঘর্ষণ যদি একেবারেই না থাকিত তাহা হইলে সচল বস্তু নিজ হইতে থামিত না, সরলরেখা ধরিয়া সুষম বেগে চলিতেই থাকিত। স্থির বস্তুর স্থির থাকিতে চাওয়ারূপ ধর্মকে উহার **স্থিতি-জড়তা** (Inertia of rest) বলে। সচল বস্তুর সরলরেখায় সুষম বেগে চলিতে চাওয়ার ধর্মকে উহার **গতি-জড়তা** (Inertia of motion) বলে।

থামিয়া থাকা ট্রেন বা বাস হঠাৎ চলিতে সুরু করিলে আরোহী গতির বিপরীতে একটা ধাক্কা অনুভব করেন। ইহা স্থিতি-জড়তার জন্য। দেহের নিচের অংশ গাড়ির সঙ্গে চলে, কিন্তু উপরের অংশ স্বস্থানে থাকিতে চায়। চলন্ত গাড়ি হঠাৎ থামিলে ইহার বিপরীত ক্রিয়া হয়, অর্থাৎ নিচের অংশ থামিয়া যায় ও উপরের অংশ গতি-জড়তার জন্য গাড়ির গতির দিকেই চলিতে চায়।

প্রশ্ন। (১) ট্রেন সুষম বেগে চলিতেছে। কোন আরোহী কামরার ভিতরে বসিয়া একটি বল উপরে ছুড়িয়া দিলেন। বল তাহার হাতেই ফিরিয়া আসিবে কেন?

(বল ও আরোহীর বেগ ট্রেনের বেগের সমান। বলটি যতক্ষণ হাওয়ায় থাকে, ততক্ষণ বল ও আরোহী একই বেগে আগাইতে থাকেন। ইহা বলের গতি-জড়তার উদাহরণ। বায়ুর বাধা বলের ওজনের তুলনায় নগণ্য হওয়া দরকার।)

(২) চলন্ত গাড়ী হইতে নামিলে পড়িয়া যাওয়ার আশঙ্কা থাকে কেন?

(দেহের গতি-জড়তার কথা ভাব। দেহ আগাইয়া যাইতে চায়, কিন্তু পা থামিয়া গিয়াছে।)

1-7.2. দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা। দ্বিতীয় সূত্র বলবিদ্যার (Dynamics-এর) মূল সূত্র। অপ্রতিমিত (unbalanced) বলের ক্রিয়ায় গতির সকল প্রশ্নই এই সূত্রের সাহায্যে সমাধান করা যায়।

ধরা যাক, m ভরের কোন কণার আদিবেগ u এবং t অবকাশ পরে অন্তবেগ v। অতএব t অবসরে ভরবেগের পরিবর্তন $mv-mu$, এবং ভরবেগ পরিবর্তনের হার $m(v-u)/t$। ত্বরণের সংজ্ঞা অনুসারে ত্বরণ $f=(v-u)/t$। অতএব ভরবেগ পরিবর্তনের হার $m(v-u)/t=mf$। v, u এবং f তিনটিই ভেকটর রাশি। v এবং u এক রেখায় নাও হইতে পারে। না হইলে $v-u$ কোন্ দিকে হইবে তাহা আমরা 1-5.3 বিভাগ (ভেকটরের বিয়োগ) হইতে পাইব। f-এর দিক্ ইহাই।

সূত্র অনুসারে প্রযুক্ত বল (যাহার ক্রিয়ায় বেগ u হইতে v-তে পরিণত হইয়াছে তাহা) $(v-u)/t=f$-এর আনুপাতিক ও f-এর অভিমুখে।

P যদি প্রযুক্ত বল হয়, তবে আনুপাতিকতার জন্য

$$P \propto mf \text{ বা } P=kmf \; (k=\text{স্থির রাশি}) \text{।} \tag{1-7.1}$$

এককের যে কোন পদ্ধতিতে m এবং f-এর একক স্থির করা আছে। বল P-র একক স্থির করিতে আমাদের উপরের $P=kmf$ সমীকরণের সাহায্য নিতে হইবে। k-কে আমরা ইচ্ছামত যে কোন মান দিতে পারি। কিন্তু $k=1$ ধরা সবচেয়ে সুবিধার। তাহা হইলে যখন $m=1$ ও $f=1$ তখন $P=1$ হইবে, অর্থাৎ **একক বল (unit force) তাহাকেই বলিব যে বল একক ভরকে একক ত্বরণ দিতে পারে।** বল এই এককে ধরিলে **গতীয় মূল সমীকরণ (Fundamental kinetic equation)** হয়

$$\boxed{P=mf} \tag{1-7.2}$$

$P=mf$ সমীকরণ প্রয়োগ করার সময় মনে রাখিতে হইবে

(১) m ভরের কণার উপর P বল ক্রিয়া করিলে কণা $f=P/m$ ত্বরণে বলের অভিমুখে চলে। প্রতি সেকেণ্ডে কণার বেগ $f=P/m$ পরিমাণ বাড়ে।

(২) বল যতক্ষণ ক্রিয়া করে বেগ ততক্ষণ পর্যন্ত বাড়িতে থাকে।

(৩) বল যে দিকে ক্রিয়া করে, বেগ-পরিবর্তন (বা ত্বরণ) সেই দিকেই হয়।

(৪) বলের ক্রিয়া বন্ধ হইলে তখন আর বেগ বাড়ে না। কণা যে অন্তবেগ পাইয়াছিল সেই বেগে সরলরেখায় চলিতে থাকে।

(ক) বলের নিরপেক্ষ একক (Absolute units of force)। এককের কোন পদ্ধতিতে কোন যৌগিক একক (derived unit) স্থির করিতে মৌলিক এককগুলির কোনটির মানই যদি 1 ভিন্ন অন্য কিছু ধরিতে না হয়, তাহা হইলে সেই যৌগিক একককে ঐ পদ্ধতির 'নিরপেক্ষ' বা 'স্বাভাবিক' একক (Absolute unit) বলা হয়। দেখা যাক, এককের বিভিন্ন পদ্ধতিতে বলের নিরপেক্ষ একক কি কি। এ সকল ক্ষেত্রেই $m=1$ একক, $f=1$ একক হইলে $P=1$ একক হইবে।

সিজিএস্ পদ্ধতিতে বলের নিরপেক্ষ একক এক **ডাইন** (dyne ; চিহ্ন dyn) ; ইহা 1g ভরকে 1 cm/s² ত্বরণ দেয়। 1 dyn = 1g cm/s²।

এম্‌কেএস্ পদ্ধতিতে $m=1$ kg ও $f=1$ m/s² হইলে $P=1$ একক হইবে। বলের এই এককের নাম **নিউটন** (newton ; চিহ্ন N)। যে বল 1 kg ভরকে 1 m/s² ত্বরণ দিতে পারে তাহাই এক নিউটন। 1 newton = 1 kg m/s²।

এফ্‌পিএস্ পদ্ধতিতে বলের নিরপেক্ষ একক এক **পাউণ্ডাল** (poundal ; চিহ্ন pdl বা lbf pound force) ; ইহা 1 lb ভরকে 1 ft/s² ত্বরণ দেয়। 1 pdl = 1 lb ft/s²।

নিউটন, ডাইন ও পাউণ্ডালে পারস্পরিক সম্পর্ক।

$1 \text{ newton} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$

$= 1000 \text{ g} \times 100 \text{ cm/s}^2 = 10^5 \text{g cm/s}^2 = 10^5 \text{dyn.}$

$1 \text{ pdl} = 1 \text{ lb} \times 1 \text{ ft/s}^2 = 453{\cdot}6 \text{ g} \times 30{\cdot}48 \text{ cm/s}^2 = 453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \text{ g cm/s}^2$

$= 1{\cdot}382 \times 10^4 \text{dyn} = 0{\cdot}1382 \text{ N.}$

বিশেষ মন্তব্য। কোন অঙ্ক কষিতে প্রদত্ত রাশিগুলিকে যে কোন পদ্ধতির নিরপেক্ষ এককে প্রকাশ করিয়া লইবে। তাহা হইলে উত্তরও ঐ পদ্ধতির নিরপেক্ষ এককে পাওয়া যাইবে।

(খ) বলের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational units of force)। কোন পদ্ধতির একক ভরকে পৃথিবী যে বলে টানে তাহাকে ঐ পদ্ধতির বলের অভিকর্ষীয় একক বলে।

গৃহীত পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় ত্বরণ (g)-র মান যাহা, 1-7.1 সমীকরণে k তাহার সমান ধরা হয়, অর্থাৎ ($k = g$)। [বাঁকা (italics) হরফের g অভিকর্ষীয় ত্বরণ বুঝায় ; সোজা (roman) হরফের g গ্র্যাম বুঝায়।]

সিজিএস্ পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় একক এক গ্র্যাম বল বা **গ্র্যাম-ভার** (gram weight ; চিহ্ন g-wt)। ইহা এক গ্র্যামের ওজনের সমান।

$1 \text{ g-wt} = 1 \text{ g} \times 980 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ g cm/s}^2 = 980 \text{ dyn.}$

এম্‌কেএস্ পদ্ধতিতে একক ভর = 1 kg। পৃথিবীর টান উহাকে $g = 9{\cdot}8 \text{ m/s}^2$ ত্বরণ দেয়। অতএব এই পদ্ধতিতে বলের অভিকর্ষীয় একক $= 1 \text{ kg} \times 9{\cdot}8 \text{ m/s}^2 = 9{\cdot}8 \text{ kg m/s}^2 = 9{\cdot}8 \text{ N}$ (newton)। ইহাকে এক কিলোগ্র্যাম বল বা **কিলোগ্র্যাম-ভার** (kilogram weight ; চিহ্ন 1 kg-wt) বলে।

এফ্‌পিএস্ পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় একক এক পাউণ্ড বল বা এক **পাউণ্ড-ভার** (pound weight) ; চিহ্ন lb-wt বা lbf (pound force)। ইহা এক পাউণ্ডের ওজনের সমান।

1 lb-wt (বা lbf) $= 1 \text{ lb} \times 32 \text{ ft/s}^2 = 32 \text{ lb ft/s}^2 = 32 \text{ pdl}$।

এককের বিভিন্ন পদ্ধতিতে বলের অভিকর্ষীয় এককের নাম ও মান লক্ষ্য কর এবং ঐ মানের সঙ্গে নিরপেক্ষ এককের মানের সম্পর্ক দেখ :

1 গ্র্যাম বল বা 1 গ্র্যাম-ভার (g-wt) $= g$ ডাইন (dyn) (সিজিএস্) = 980 dyn

1 কিলোগ্র্যাম বল বা 1 কিলোগ্র্যাম-ভার (kg-wt) $= g$ নিউটন (N) (এম্‌কেএস্) = 9·8 N

1 পাউণ্ড বল বা 1 পাউণ্ড-ভার (lb-wt) $= g$ পাউণ্ডাল (এফ্‌পিএস্) = 32 pdl

g-র মান পৃথিবীর সর্বত্র এক নয়। কাজেই g-র স্থানীয় মান নিলে, বিভিন্ন জায়গায় বলের অভিকর্ষীয় এককের মান আলাদা হইবে। ইহা বাঞ্ছনীয় নয় বলিয়া সূক্ষ্ম মাপনে এই সমীকরণগুলিতে g-কে একটা স্থির মান দেওয়া হয়। g-র এই স্থির মানকে 'মানক' বা 'প্রামাণ্য' g (standard gravity) বলে। ইহার মান $9{\cdot}80665 \text{ m/s}^2 = 980{\cdot}665 \text{ cm/s}^2 = 32{\cdot}1741 \text{ ft/s}^2$। ইহা কার্যত 45° অক্ষাংশে গড় সমুদ্রপৃষ্ঠে g-র মান।

অর্থবোধে ভুল হইবার সম্ভাবনা না থাকিলে এক কেজি বল, এক গ্র্যাম বল, এক পাউণ্ড বল, কথাগুলি ব্যবহার করা চলে। ইহাদ্বারা বলের অভিকর্ষীয় এককগুলি বুঝায়। kg-wt, g-wt, lb-wt চিহ্নগুলি খুবই প্রচলিত; কিন্তু কোন ক্ষেত্রে 'প্রযুক্ত বল 1 g, 1 kg বা 1 lb' যদি বলা যায় তবে উহা যে অভিকর্ষীয় একক তাহা বুঝিতে অসুবিধা হয় না। অভিকর্ষীয় একক ইঞ্জিনিয়ারিংএ বেশী ব্যবহৃত হয়; শুদ্ধবিজ্ঞানে কম।

প্রশ্ন। (১) 20 dyn একটি বল 5 g ভরের কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে বস্তুটির ত্বরণ কত হইবে? স্থির অবস্থা হইতে 5 s ধরিয়া বল ক্রিয়া করিলে তাহার পর বস্তুটির কি অবস্থা হইবে? [উত্তর: ত্বরণ = 20 dyn/5 g = 4 cm/s²। আদিবেগ $u=0$ হওয়ায় অন্তবেগ $v = 5\text{ s} \times 4\text{ cm/s}^2 = 20\text{ cm/s}$। বলের ক্রিয়া বন্ধ হইলে বস্তুটি এই বেগে সরলরেখায় চলিতে থাকিবে।]

(২) 10 kg ভরের কোন বস্তুর উপর 3 সেকেণ্ড ধরিয়া একটি বল ক্রিয়া করায় উহা স্থির অবস্থা হইতে 40 m পথ গেল। বলের মান কত? আরম্ভের 4 s পরে বলের ক্রিয়া বন্ধ হইলে পরবর্তী 3 সেকেণ্ডে বস্তুটি কতদূর যাইবে?

[সমাধান—বস্তুটি স্থির অবস্থা হইতে 3 সেকেণ্ডে 40 m গিয়াছে। এখানে $u=0$, $s=40\text{ m}$ এবং $t=3\text{ s}$। $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণে এই মানগুলি বসাইয়া পাই $f=8{\cdot}9\text{ m/s}^2$। অতএব বলের মান $= 10\text{ kg} \times 8{\cdot}9\text{ m/s}^2 = 8{\cdot}9\text{ N} = 8{\cdot}9 \times 10^6\text{ dyn}$। 4 সেকেণ্ডে অন্তবেগ $v = 4 \times 8{\cdot}9\text{ m/s}$। পরবর্তী তিন সেকেণ্ডে এই বেগ নিয়াই বস্তুটি সরলরেখায় চলিবে। এই সময়ে অতিক্রান্ত পথ $= 3 \times 4 \times 8{\cdot}9\text{ m}$।]

(গ) বিভিন্ন প্রকার বল। বলগুলিকে আমরা সাধারণত দুই শ্রেণীতে ভাগ করি—(১) স্পর্শজনিত বল (Contact forces) ও (২) ক্ষেত্রজনিত বল (Field forces)। ঠেলা (push) বা টান (pull) স্পর্শজনিত বল। এরূপ বলের প্রয়োগের সময় প্রয়োগ-কর্তার সঙ্গে বস্তুর স্পর্শ থাকে। অভিকর্ষ, বৈদ্যুত আকর্ষণ বা বিকর্ষণ, চৌম্বক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ—এসব বল স্পর্শ ছাড়াই ক্রিয়া করিতে পারে। ইহাদের ক্ষেত্রবল বলে; ইহারা দূর হইতেই ক্রিয়া করিতে পারে।

(ঘ) বল সঞ্চালন (Transmission of forces)। শক্ত লাঠি বা দণ্ডের সাহায্যে বলের প্রয়োগ-কর্তা হইতে বস্তুতে ঠেলা বা টান সঞ্চালিত করা যায়। দড়ি কেবল টানই সঞ্চালিত করিতে পারে। দড়ির টান উহার দুইপ্রান্ত সংলগ্ন দুই বস্তুকে পরস্পরের কাছে আনিতে চায়।

ক্ষেত্রবলের ক্রিয়া এভাবে বোঝা যায় না। বৈদ্যুত ও চৌম্বক ক্ষেত্রবলের ক্রিয়া আলোচনায় ইহা বুঝিবার চেষ্টা করা হইবে।

(ঙ) বলের তিনটি বৈশিষ্ট্য। কোন বলকে সম্পূর্ণরূপে বর্ণনা করিতে হইলে তিনটি বিষয় উল্লেখ করা দরকার—(১) বলের মান, (২) বলের দিক্ বা ক্রিয়ামুখ (direction) ও (৩) উহার ক্রিয়াবিন্দু, অর্থাৎ বস্তুর কোন্ বিন্দুতে উহা প্রযুক্ত হইয়াছে। কণার ক্ষেত্রে কণাই ক্রিয়াবিন্দু। কিন্তু কোন দৃঢ় বস্তুতে বল প্রযুক্ত হইলে বলের ক্রিয়ারেখায় বস্তুর ভিতরে অবস্থিত যে কোন বিন্দুকে ক্রিয়াবিন্দু বলিয়া ধরা যায়।

(চ) রেখাংশের সাহায্যে বল প্রকাশ করা (Representation of a force by a line segment)। বলের উপরোক্ত তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকায় নির্দিষ্ট

দৈর্ঘ্যের সরলরেখা দিয়া বলকে চিত্রে প্রকাশ করা যায়। রেখার দৈর্ঘ্য ইচ্ছামত স্কেলে বলের দৈর্ঘ্য প্রকাশ করিতে পারে। (10 পাউণ্ডাল বা 10 নিউটন বলকে আমরা যে দৈর্ঘ্য দিয়া প্রকাশ করিব, উহার দ্বিগুণ বলকে দ্বিগুণ দৈর্ঘ্যের রেখা দিয়া প্রকাশ করিতে হইবে।) রেখার দিক্ বলের দিকের সমান্তরাল হইবে, এবং রেখাংশে একটি তীরচিহ্ন দিয়া বলের ক্রিয়ামুখ বুঝান হইবে। রেখাংশ যে বিন্দু হইতে টানা হইবে সেই বিন্দুই বলের ক্রিয়াবিন্দু বুঝাইবে।

1-7.3. গতীয় মূল সমীকরণের অন্যবিধ রূপঃ বলের ঘাত (Impulse of a force)। P বল t সময় ধরিয়া ক্রিয়া করিলে $P \times t$ গুণফলকে বলের **ঘাত (Impulse)** বলে। ঘাতে ভরবেগের পরিবর্তন ঘটে, কারণ

$$P \times t = m \times f \times t = m(v-u) \qquad (1\text{-}7.3)$$

বা, **বলের ঘাত = ভরবেগের পরিবর্তন।**

কোন জোরাল বল অল্পক্ষণ ক্রিয়া করিলে উহাকে **ঘাতবল (Impulsive force)** বলে। হাতুড়ির ঘা, ফুটবলের কিক্ (kick), ক্রিকেট বল, টেনিস বল প্রভৃতি মারা —এগুলি ঘাতবলের ক্রিয়ার উদাহরণ। ঘাতবলের ক্রিয়ায় স্থির বস্তু ভরবেগ পায়। এই ভরবেগ ঘাতবলের ঘাতের সমান। বলের ক্রিয়াকাল জানিতে পারিলে বলের মান পাওয়া যায়। ফুটবলে লম্বা 'শট' পাইতে হইলে বল মারার সময় পা বেশীক্ষণ বলের সংস্পর্শে রাখিতে হইবে।

প্রশ্ন। (১) ফুটবলে শট করায় উহা 10 m/s বেগে ছুটিল। ফুটবলের ওজন 350 g ও উহাতে প্রযুক্ত ঘাতবলের ক্রিয়াকাল 0·1 s হইয়া থাকিলে, ফুটবলে কত ডাইন বল প্রযুক্ত হইয়াছিল?

[সমাধান—$Pt = m(v-u)$ সমীকরণে $u = 0$, $v = 10\text{ m/s} = 1000\text{ cm/s}$, $m = 350\text{ g}$ মানগুলি বসাইয়া পাই $P = 3{\cdot}5 \times 10^6\text{ dyn}$।]

(২) 60 g ওজনের একটি ঢিল খাড়া উপরে ছুড়িয়া মারিলে। উহা 10 m উঁচু বাড়ীর ছাদ পর্যন্ত উঠিল। ঢিলটি ছুড়িবার সময় তোমার চলন্ত হাতে উহা 0·2 s কাল ছিল। ঢিলে কত নিউটন বল প্রয়োগ করিয়াছিলে?

[সমাধান—(বল নিউটনে চাওয়া হইয়াছে)। অতএব আগাগোড়া এম্‌কেএস্ একক ব্যবহার করা ভাল। এখানে $m = 60\text{ g} = 0{\cdot}06\text{ kg}$; $t = 0{\cdot}2\text{ s}$; 10 m উঁচুতে $v = 0$। তাহা হইলে মাটিতে, অর্থাৎ ঢিল ছোড়ার সময়, উহার বেগ কত ছিল? জানা আছে u বেগে কোন বস্তুকে খাড়া উপরে ছুড়িলে উহা $H = u^2/2g$ উচ্চতা পর্যন্ত উঠিবে। $H = 10\text{ m}$ এবং $g = 9{\cdot}8\text{ m/s}^2$। অতএব $u = (2 \times 9{\cdot}8\text{ m/s}^2 \times 10\text{ m})^{1/2} = 14\text{ m/s}$। এখন মানগুলি $Pt = m(v-u)$ সমীকরণে বসাইলে P নিউটনে পাইবে। (বিয়োগ চিহ্নের এখানে কোন অর্থ নাই; উহাতে কেবল বুঝায় বল ঊর্ধ্বমুখী (g-র বিপরীতে) ছিল।) উঃ 4·2 N।

সব রাশিগুলি সিজিএস্ এককে নিলে উত্তর পাইতে $4{\cdot}2 \times 10^5\text{ dyn}$।]

1-7.4. জড়ত্বীয় ভর (Inertial mass)। $P = mf$ সূত্রে m রাশিটিকে জড়ত্বীয়-ভর বলে; $m = P/f$ অথবা $m = Pt/(v-u)$। পরীক্ষায় দেখা যায় কোন নির্দিষ্ট বস্তুর ক্ষেত্রে P/f বা $Pt/(v-u)$ অনুপাত স্থির রাশি। বস্তুটির গতি পরিবর্তন করা, অর্থাৎ উহাকে ত্বরণ দেওয়া, কত সোজা

বা শক্ত, P/f অনুপাত তাহাই বুঝায়। m বা জড়ত্বীয় ভর কোন বস্তুকে ত্বরিত করিবার বাধার পরিমাণ। পরীক্ষায় জড়ত্বীয় ভরের কতকগুলি ধর্ম দেখা যায় ; যেমন

(১) দুইটি বস্তুর জড়ত্বীয় ভর উভয় ভরের যোগফলের সমান ;

(২) জড়ত্বীয় ভর বস্তুর আকার বা রাসায়নিক গঠনের উপর নির্ভর করে না ;

(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জড়ত্বীয় ভরের পরিবর্তন হয় না।

দুইটি বস্তুর জড়ত্বীয় ভর তুলনা করিতে একই বল প্রয়োগে কাহার কত ত্বরণ হয় তাহা দেখা দরকার। $P=m_1f_1=m_2f_2$ হইলে, $m_1/m_2=f_2/f_1$ হইবে। $m_1=1$ kg হইলে, $m_2=f_1/f_2$ kg।

মহাকর্ষের (gravitation-এর) কথা তোমরা শুনিয়া থাকিবে। নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্রে (Newton's law of gravitation; 'পদার্থের ধর্ম' অংশ, প্রথম পরিচ্ছেদ) বলে বিশ্বের যে কোন কণা অন্য যে কোন কণাকে আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণ প্রত্যেক কণার ভরের আনুপাতিক। এই ভরকে 'মহাকর্ষীয় ভর' (gravitational mass) বলে। সাধারণ তুলায় (common balance-এ) আমরা যে ভর মাপি তাহা মহাকর্ষীয় ভর। পরীক্ষায় দেখা যায় জড়ত্বীয় ও মহাকর্ষীয় ভরের ধর্মগুলি একই এবং একে অন্যের আনুপাতিক। এই কারণে আমরা একই মানক (standard) ভর (কিলোগ্রাম) দিয়া উভয়কেই মাপি এবং উভয় ভর একই বলিয়া ধরি।

1-7.5. তৃতীয় সূত্রের আলোচনা : ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া। যে বস্তুর উপর বল ক্রিয়া করে, নিউটনের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্র সেই বস্তু সম্বন্ধে প্রযোজ্য। যে বল প্রয়োগ করে, তৃতীয় সূত্রে তাহাকেও আনা হইয়াছে। 'ক্রিয়া' ও 'প্রতিক্রিয়া' কথা দুইটিই বল বুঝায়। কোন বস্তু A অন্য কোন বস্তু B-র উপর বল প্রয়োগ করিলে, তৃতীয় সূত্র অনুসারে B-ও A-র উপর সমান এবং বিপরীত বল প্রয়োগ করিবে। প্রথম বলকে 'ক্রিয়া' বলিলে দ্বিতীয় বলই 'প্রতিক্রিয়া'। যে বস্তুটি আমাদের আলোচনার বিষয়, তাহার উপর ক্রিয়াশীল বলকেই সাধারণত আমরা 'ক্রিয়া' বলি। যে বল প্রয়োগ করে, তাহার উপরে যে সমান ও বিপরীতমুখী বল আসিয়া পড়ে, তাহাই 'প্রতিক্রিয়া'। যতক্ষণ ক্রিয়া থাকে ততক্ষণ প্রতিক্রিয়াও থাকে ; ক্রিয়া বন্ধ হইলে সঙ্গে সঙ্গে প্রতিক্রিয়াও বন্ধ হয়। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া (১) দুইটি বিভিন্ন বস্তুর উপর কাজ করে, (২) উহাদের কার্যকাল সমান, এবং (৩) উহারা মানে সমান ও অভিমুখে বিপরীত। বস্তু দুইটি স্থির থাকুক বা সচল হউক, সংস্পর্শে থাকুক বা দূরে থাকুক, তৃতীয় সূত্র সকল ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। প্রকৃতি (Nature) যেন নিয়ম করিয়াছেন যে 'বল কাজ করিবে জোড়ায় জোড়ায়, কিন্তু বিভিন্ন বস্তুর উপর'।

$$\text{বস্তু A} \underset{\text{বল } P = \text{প্রতিক্রিয়া}}{\overset{\text{বল } P = \text{ক্রিয়া}}{\rightleftarrows}} \text{বস্তু B}$$

উদাহরণ। (১) টেবিলের উপরে একখানা বই আছে। বইয়ের ওজন টেবিলের উপর নিম্নমুখী বল প্রয়োগ করে ; ইহা ক্রিয়া। টেবিলও বইখানার উপর বইয়ের ওজনের সমান বল উপরের দিকে প্রয়োগ করে ; ইহাই প্রতিক্রিয়া।

(বইখানা যে স্থির আছে, তাহা কিন্তু ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে নয়। স্থির বা সাম্যে থাকিতে হইলে **একই বস্তুর** উপর সমান ও বিপরীত বল ক্রিয়া করিবে।

এক্ষেত্রে বইয়ের উপরে এরূপ যে ছুটি বল ক্রিয়া করে তাহারা হইল (১) বইয়ের ওজন, অর্থাৎ বইয়ের উপর পৃথিবীর নিচমুখী টান ও (২) বইয়ের উপর টেবিলের প্রতিক্রিয়া। বইয়ের সাম্য বিচারে বই যে বল প্রয়োগ করে তাহা আসিবে না ; বইয়ের উপর যে সব বল ক্রিয়া করে তাহারাই আসিবে।)

(২) দেওয়ালে একখানা মই হেলান দিয়া রাখিলে মইখানা দেওয়ালের উপর চাপ দিবে। দেওয়ালও সমান বলে মইখানাকে ঠেলিবে। মইএর ক্রিয়া দেওয়ালকে ফেলিয়া দিতে প্রয়াস পায় ; দেওয়াল শক্ত না হইলে সত্য সত্যই ফেলিয়া দিতে পারে। দেওয়ালের প্রতিক্রিয়া মইখানাকে আটকাইয়া রাখে, উহাকে পড়িতে দেয় না।

(৩) গাছের সঙ্গে দড়ি দিয়া বাঁধিয়া একজন লোক দড়ি টানিতেছে। দড়ির মাধ্যমে লোকটি গাছের উপরে যে টান দেয়, তাহা ক্রিয়া। লোকটির উপরও গাছের দিকে সমান টান প্রযুক্ত হয় ; ইহা প্রতিক্রিয়া। একপ্রান্তে দড়ি গাছকে টানে ; গাছও সমান বলে দড়িকে টানে। অন্য প্রান্তে লোকটি দড়িকে টানে, এবং দড়িও সমান বলে লোকটিকে টানে। প্রত্যেক প্রান্তেই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া দেখা যায়। দড়ি উভয়মুখী টান (Tension) নিজের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হইতে দেয়। দড়ির উপরে লোকের টান ও গাছের টান, এই ছুই টানে দড়ি সাম্যে থাকে।

ছুজন লোক 20 kg বলে দড়ির ছু মাথা ধরিয়া টানিলে দড়ি সাম্যে থাকিবে। দড়িতে টান (tension) 20 kg। দড়ি মাঝখানে কাটিয়া কাটা মাথা ছুটি স্প্রিং ব্যালান্সের ছু প্রান্তে বাঁধিয়া আগের টান প্রয়োগ করিলে ব্যালান্সের পাঠ 20 kg-ই পাওয়া যাইবে, 40 kg নয়।

প্রশ্ন। একগাছা দড়ির এক মাথা একটি খুঁটিতে বাঁধা। দড়ির ছু জায়গায় ছুটি ছেলে দড়িগাছাকে প্রত্যেকে 15 kg বলে টানিতেছে। (ক) খুঁটি এবং প্রথম ছেলেটি, ও (খ) ছুটি ছেলের মাঝখানে, দড়িতে টান কত? [উঃ (ক) 30 kg ; (খ) 15 kg]

1-7.6. চলন্ত লিফ্‌টে প্রতিক্রিয়া (Reaction in a moving lift)।

মনে কর m kg ওজনের কোন লোক লিফ্‌টে দাঁড়াইয়া আছে এবং লিফ্‌ট f m/s² ত্বরণে উপরে উঠিতেছে। লোকটির উপর ক্রিয়াশীল বল ছুইটি—(১) তাহার ওজন mg ; ইহা নিচের দিকে ক্রিয়া করে, এবং (২) লিফ্‌ট তাহাকে উপরের দিকে R বলে ঠেলে। এই ছুই বলের ক্রিয়ায় লোকটির ঊর্ধ্বমুখী ত্বরণ f হইয়াছে। অতএব $R-mg=mf$ বা $R=m(g+f)$। লিফ্‌ট f ত্বরণে নিচের দিকে নামিতে থাকিলে সম্পর্ক হইত $mg-R=mf$ বা $R=m(g-f)$। $f=g$ হইলে $R=0$ হইবে।

লোকটির ওজন লিফ্‌টের উপর নিচের দিকে ক্রিয়া করে। লিফ্‌ট লোকটির উপর প্রতিক্রিয়ার বল প্রয়োগ করে ; এই বলকেই R বা লিফ্‌টের প্রতিক্রিয়া বলিয়াছি। আমরা যে মেজের উপর দাঁড়াইয়া থাকি তাহার প্রতিক্রিয়াই আমাদের ওজনের বোধ জন্মায়। প্রতিক্রিয়া $R=0$ হইলে আমরা নিজেদের ওজন টের পাইব না। নিজেকে ওজন-হীন (weightless) মনে হইবে।

প্রশ্ন। 70 kg ওজনের একজন লোক লিফ্‌টে দাঁড়াইয়া আছে। লিফ্‌ট $0.8\ m/s^2$ ত্বরণে নিচে নামিতে শুরু করিল। লোকটি লিফ্‌টের মেজেয় কত বল প্রয়োগ করিতেছে? লিফ্‌ট ঐ ত্বরণে উপরে উঠিলে লোকটির উপর কত বল ক্রিয়া করিত? ($g = 9.8\ m/s^2$)।

[উঃ 630 ও 742 নিউটন।]

1-8. রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ (Conservation of linear momentum)। নিউটনের তৃতীয় সূত্রে প্রকৃতির একটি মহাসত্য নিহিত আছে। এই সত্যটি হইল 'রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ'।

মনে কর A বস্তুটি B বস্তুর উপর t সময় ধরিয়া P বল প্রয়োগ করিল। ইহাতে P-র অভিমুখে B-র ভরবেগের পরিবর্তন হয় Pt (1-7.3 সমীকরণ)। A-র উপর B-র প্রতিক্রিয়া A-র ভরবেগের একই পরিবর্তন ঘটায় কারণ ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার মান ও কার্যকাল সমান। প্রতিক্রিয়া ক্রিয়ার বিপরীতমুখী হওয়ায় A-র ভরবেগের পরিবর্তন B-র ভরবেগের পরিবর্তনের সমান ও বিপরীতমুখী হয়। অতএব P বলের ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ায় A ও B-র মিলিত ভরবেগের পরিবর্তন শূন্য। সুতরাং P বল ক্রিয়া করিবার আগে A ও B-র মোট ভরবেগ যাহা ছিল, P-র ক্রিয়ায় তাহার কোন পরিবর্তন হয় না। অতএব A ও B বস্তুযুগ্মের পারস্পরিক ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ায় উহাদের ভরবেগের কোন পরিবর্তন হয় না। দুইটি না হইয়া বস্তুসংখ্যা বেশী হইলেও প্রত্যেক জোড়ার মধ্যে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া থাকিলে এই বস্তুসংহতি* (System of bodies) সম্বন্ধেও উপরের কথা খাটিবে।

∴ ইহা হইতে বলা যায় **কোন বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতিতে একাধিক বস্তুর মধ্যে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া থাকিলে এই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে সংহতির মোট রৈখিক ভরবেগের কোন পরিবর্তন হইবে না।** ইহাই 'রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র' (Principle of conservation of linear momentum)। এখানে সরলরেখায় ভরবেগের কথা বলা হইতেছে। [কৌণিক ভরবেগ বলিয়া আর একটি রাশি আছে ; তাহা রৈখিক ভরবেগ হইতে পৃথক (2-1 বিভাগ দেখ)।]

বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতির রৈখিক ভরবেগ বদলাইতে হইলে সংহতির **বাহির হইতে** উহার উপর বল প্রয়োগ করিতে হইবে। নিউটনের প্রথম সূত্রেও এই কথা অন্যভাবে বলে। সুতরাং বলা চলে নিউটনের তৃতীয় সূত্রে প্রথম সূত্র নিহিত আছে।

উদা. (১) তুমি যখন সাইকেল চালাইতেছ তখন তুমি ও সাইকেল একটি সংহতি। সাইকেলের হাতল পিছন দিকে টানিয়া সাইকেল থামাইতে পারিবে কি ?

(২) কামানের গোলা ছুটিতে ছুটিতে বায়ুতেই ফাটিয়া গেল। ফাটার পর উহার

---

* পদার্থবিদ্যায় কোন আলোচনা প্রসঙ্গে আমরা এক বা একাধিক বস্তু বাছিয়া লই। সেই বিশেষ আলোচনায় মহাবিশ্বের অন্যান্য সকল বস্তুর কথা আমরা ভুলিয়া যাই, অর্থাৎ আলোচনায় আনি না। যেন, আমাদের বাছা বস্তুটি বা বস্তু কয়টি ছাড়া মহাবিশ্বে আর কিছু নাই। মহাবিশ্ব হইতে কল্পনায় বিচ্ছিন্ন করা এই বস্তু বা বস্তুগুলিকে আমরা **'বিচ্ছিন্ন বস্তু'** (Isolated body), **'বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতি'** (Isolated system of bodies), বা সংক্ষেপে **বস্তুসংহতি** (System of bodies) বলি।

টুকরাগুলি নানা দিকে বিভিন্ন বেগে ছড়াইয়া পড়ে। টুকরাগুলির রৈখিক ভরবেগের ভেকটর যোগফল ফাটার আগে গোলার ভরবেগের সমান হইবে।

(৩) **রকেট (Rocket)**-এর গতি ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রের একটি উদাহরণ। রকেটের ইন্ধন জ্বলিয়া গ্যাসে পরিণত হইয়া ছিদ্রপথে তীব্রবেগে বাহির হইয়া আসে। রকেট গ্যাসের সমান ও বিপরীত ভরবেগ পায়। **জেট প্লেন (Jet plane)**-এর ক্রিয়াও অনুরূপ। (ইন্ধন জ্বলিবার অক্সিজেন রকেটেই থাকে। কাজেই উহা বায়ুহীন মহাশূন্যেও চলিতে পারে। জেট প্লেন বায়ু চাপিয়া জ্বালানী অক্সিজেন সংগ্রহ করে। খুব বেশী উঁচুতে, যেখানে বায়ু খুব কম, সেখানে জেট ইঞ্জিন কাজ করিতে পারে না। ভাবা যায়, রকেট ও জেট প্লেন নির্গত গ্যাসের উপর চাপ দিয়া আগাইয়া যায়। হেলিকপটার বায়ুতে চাপ দিয়া ওঠে ও আগায়।)

(৪) কামান হইতে যখন গোলা ছোড়া হয় তখন গোলা নিজের গতির দিকে ভরবেগ পায়। গোলা ছোড়ার আগে কামান ও গোলা উভয়ে স্থিতিতে ছিল, এবং উহাদের মিলিত ভরবেগ ছিল শূন্য। আলোচ্য সূত্র অনুসারে উহাদের মোট ভরবেগের পরিবর্তন হইবে না; কামান গোলার সমান ও বিপরীত ভরবেগ পাইবে। অতএব উহা পিছনে হটিয়া আসিবে।

প্রশ্ন। 800 kg ওজনের একটি কামান হইতে 8 kg ওজনের একটি গোলা 300 m/s বেগে বাহির হইল। কামান কি বেগে পিছাইবে?

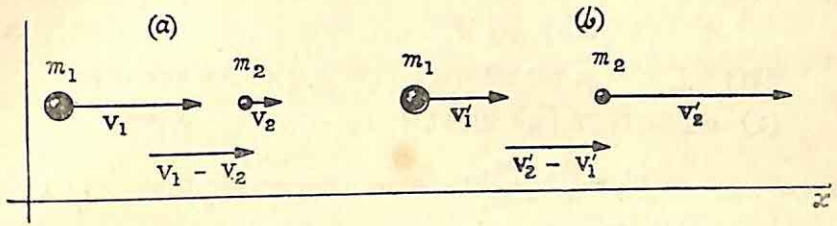
[সমাধান—গোলার ভরবেগ $= 8 \text{ kg} \times 300 \text{ m/s}$। v কামানের পিছাইবার বেগ হইলে পিছন দিকে উহার ভরবেগ $800 \text{ kg} \times v$। অতএব $800 \text{ kg} \times v = 8 \text{ kg} \times 300 \text{ m/s}$ বা $v = 3 \text{ m/s}$।]

1-8.1. একই রেখায় চলন্ত দুটি কণায় স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ (Elastic collision of two particles moving in the same line)। একই রেখায় চলিয়া বিপরীত দিক্ হইতে আসিয়া (এমন কি একই দিকে চলিয়া) দুটি বস্তু ধাক্কা খাইল এরূপ ঘটনা তোমাদের অজানা নয়। দুখানা ট্রেনে ধাক্কা, সাইকেলে সাইকেলে ধাক্কা, সাইকেলের সঙ্গে লোকের ধাক্কা—এ সব ঘটনা কিছু অসাধারণ নয়। বাস্তব কোন ধাক্কার বিশদ আলোচনা শক্ত; কিন্তু খুব সরল করা আদর্শ একটি ধাক্কার (বা সংঘর্ষের) ফলাফল আমরা আলোচনা করিব।

মনে কর দুটি কণা একই সরল রেখায় চলিতে চলিতে একে অন্যের সঙ্গে ধাক্কা খাইল। ধাক্কার ফলে উহাদের গতিশক্তি অন্য কোন রকম শক্তিতে রূপান্তরিত না হইলে সেরূপ ধাক্কাকে **স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ (Elastic collision)** বলে।

অণু, পরমাণু, কেন্দ্রক, ইলেকট্রন প্রভৃতি মৌলিক কণার মধ্যে সংঘর্ষ স্থিতিস্থাপক হইতে পারে। বাস্তব বস্তুখণ্ডে সংঘর্ষ স্থিতিস্থাপক নয়, কারণ গতিশক্তি কমবেশী অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তবে আমরা এখানে কেবল স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের কথাই আলোচনা করিব। গতিশক্তির রূপান্তর থাকিলেও উহা উপেক্ষা করা হইবে।

মনে কর কণা দুইটির ভর m_1 ও m_2 এবং উহাদের আদিবেগ v যথাক্রমে v_1 ও

v_2 (1·8 চিত্র)। চলার রেখা বরাবর বেগ বাঁ হইতে ডান দিকে হইলে ভরবেগ পজিটিভ ধরা হইবে। ডান হইতে বাঁ দিকে বেগ বা ভরবেগ নিগেটিভ ধরিতে হইবে।

চিত্র 1·8

[দুই কণায় স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ : (a) সংঘর্ষের আগে ; (b) সংঘর্ষের পরে]

ধাক্কার পরে m_1-এর বেগ v'_1 ও m_2-র বেগ v'_2 হইল। (ধাক্কায় যে সময় ব্যয়িত হয় তাহা উপেক্ষা করা হইবে।) এবার, ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রয়োগে পাই

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2 \tag{1-8.1}$$

ধাক্কা স্থিতিস্থাপক হওয়ায় গতিশক্তিও সংরক্ষিত। অতএব

$$\tfrac{1}{2}m_1v_1^2 + \tfrac{1}{2}m_2v_2^2 = \tfrac{1}{2}m_1v'^2_1 + \tfrac{1}{2}m_2v'^2_2 \tag{1-8.2}$$

কণা দুটির ভর ও আদিবেগ জানা থাকিলে এই দুটি সমীকরণ হইতে অন্তবেগ হিসাব করা যায়।

1-8.1 সমীকরণ হইতে লেখা যায়

$$m_1(v_1 - v'_1) = m_2(v'_2 - v_2) \tag{1-8.3}$$

অনুরূপে 1-8.2 সমীকরণ হইতে পাই

$$m_1(v_1^2 - v'^2_1) = m_2(v'^2_2 - v_2^2) \tag{1-8.4}$$

1-8.4-কে 1-8.3 দিয়া ভাগ করিলে পাই

$$v_1 + v'_1 = v_2 + v'_2$$

বা
$$v_1 - v_2 = v'_2 - v'_1 \tag{1-8.5}$$

ইহা হইতে দেখা যায় ধাক্কার আগে দুই কণার কাছাকাছি আসার আপেক্ষিক বেগ ধাক্কার পরে দূরে সরার আপেক্ষিক বেগের সমান।

ভরের উপর অন্তবেগ কিভাবে নির্ভর করে দেখিতে হইলে লেখা যায়

$$v'_2 = v_1 + v'_1 - v_2 \quad \text{(1-8.5 সমীকরণ হইতে)}$$

1-8.3 সমীকরণে এই মান বসাইয়া পাই

$$m_1(v_1 - v'_1) = m_2(v_1 + v'_1 - v_2 - v_2),$$

বা
$$v'_1(m_2 + m_1) = (m_2 - m_1)v_1 + 2m_2v_2,$$

বা
$$v'_1 = \frac{m_1 - m_1}{m_1 + m_2}v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2}v_2 \tag{1-8.6}$$

অনুরূপে পাওয়া যায়

$$v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}v_2 \tag{1-8.7}$$

(১) উভয় ভর সমান হইলে ($m_1 = m_2$ হইলে) 1-8.6 ও 1-8.7 সমীকরণ হইতে পাই

$$v'_1 = v_2 \text{ এবং } v'_2 = v_1 \tag{1-8.8}$$

ইহার অর্থ, এ ক্ষেত্রে কণা দুটি ধাক্কার ফলে নিজেদের বেগ বদল করিল।

(২) m_2 আদিতে স্থির থাকিলে $v_2 = 0$ হইবে। এ ক্ষেত্রে

$$v'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 \text{ এবং } v'_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 \tag{1-8.9}$$

(৩) m_2 আদিতে স্থির এবং $m_1 = m_2$ হইলে

$$v'_2 = v_1 \text{ এবং } v'_1 = 0 \tag{1-8.10}$$

ইহার অর্থ প্রথম কণা থামিয়া যায় এবং দ্বিতীয় কণা উহার বেগ লইয়া চলে।

(৪) $m_2 \gg m_1$ এবং $v_2 = 0$ হইলে, অর্থাৎ দ্বিতীয় কণা প্রথম কণার তুলনায় অনেক বেশী ভারী হইলে এবং স্থির থাকিলে m_2-র তুলনায় m_1 উপেক্ষা করিয়া এবং $v_2 = 0$ লইয়া পাই

$$v'_1 \simeq -v_1 \text{ এবং } v'_2 \simeq 0 \tag{1-8.11}$$

ইহার অর্থ হালকা কণা খুব ভারী স্থির কণার সঙ্গে ধাক্কা খাইলে হালকা কণা প্রায় আদিবেগে পিছনে হটিয়া আসে এবং ভারী কণা প্রায় স্থিরই থাকে।

[$\simeq$ চিহ্নটির অর্থ 'প্রায় সমান']

(৫) m_2 ভর m_1 ভরের তুলনায় নগণ্য হইলে এবং m_2 স্থির থাকিলে

$$v'_1 \simeq v_1 \text{ এবং } v'_2 \simeq 2v_1 \tag{1-8.12}$$

ইহার অর্থ, আগন্তুক ভারী কণার বেগ কার্যত অপরিবর্তিত থাকে এবং হালকা কণা ভারী কণার প্রায় দ্বিগুণ বেগে ছুটিয়া যায়।

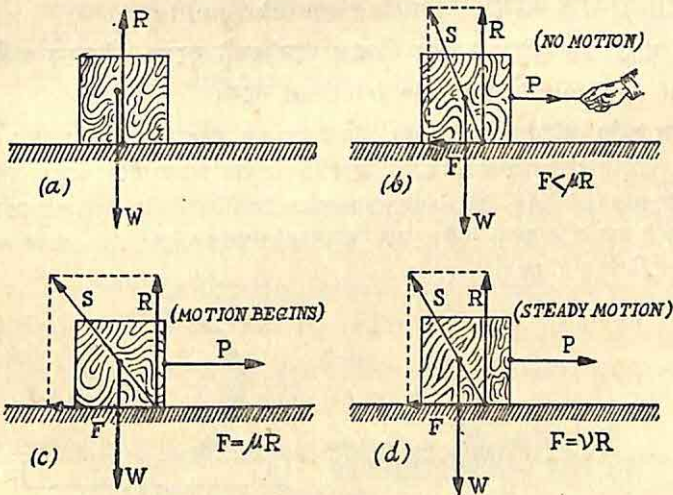
1-8.2. জেট ও রকেট (Jets and Rockets)। ইহাদের ক্রিয়াও রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র দিয়া নিয়ন্ত্রিত। জেট বলিতে সাধারণত তরল বা গ্যাসের ধারা বুঝায়। পিচকারি বা নলের মুখ দিয়া জলের যে ধারা বাহির হয় উহা এক প্রকার জেট। হাউই বলিতে আমরা যাহা বুঝি তাহা এক রকম রকেট। 1-8 বিভাগের (৩) চিহ্নিত উদাহরণে আমরা রকেট ও জেট প্লেনের কথা বলিয়াছি।

তরলের কোন অনুভূমিক ধারার প্রস্থচ্ছেদ A, বেগ v এবং তরলের ঘনত্ব ρ ধরা যাক। এই ধারা খাড়া কোন দৃঢ় দেওয়ালে পড়িলে প্রতি সেকেণ্ডে $Av\rho$ ভরের তরল v বেগে দেওয়ালে পড়িবে। ইহাতে দেওয়াল A পরিমাণ ক্ষেত্রের উপর প্রতি সেকেণ্ডে $Av^2\rho$ ভরবেগ পাইবে। ভরবেগপরিবর্তনের হার বলের সমান হওয়ায় A তলে $Av^2\rho$ বল প্রযুক্ত হইবে। প্রতি একক তলে প্রযুক্ত বলকে চাপ বা প্রেষ (Pressure) বলে। অতএব উপরের ক্ষেত্রে জেট দেওয়ালে $v^2\rho$ পরিমাণ প্রেষ প্রয়োগ করিবে। (এখানে ধরা হইয়াছে দেওয়ালে আঘাত করার পর তরলের বেগ কার্যত শূন্য ; উহা যেন দেওয়াল হইতে গড়াইয়া নিচে পড়িতেছে।)

জেট ইঞ্জিন (Zet engine), যাহার সাহায্যে জেট প্লেন বা রকেট প্লেন চলে তাহা, কার্যত একটি বদ্ধ চুল্লী (combustion chamber)। উহার পিছন দিকে একটি বিশেষ আকারের খোলা মুখ থাকে। চুল্লীতে ইন্ধন জ্বলিলে দগ্ধ গ্যাস ঐ মুখে বেগে বাহির হইয়া আসে। এই নির্গত গ্যাসের ভরবেগ গ্যাসের গতির অভিমুখে। রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অনুসারে প্লেন বা রকেট গ্যাসের গতির বিপরীত দিকে সমান ভরবেগ পায় ও আগাইয়া চলে।

1-9. ঘর্ষণ সম্বন্ধে মৌলিক কয়েকটি কথা। কোন বস্তু অন্য কোন বস্তুকে ঘষিয়া চলিতে থাকিলে বা চলিতে প্রয়াস পাইলে উভয়ের মধ্যে গতিবিরোধী একটি বল ক্রিয়া করে। এই বলকে **ঘর্ষণ জনিত বল** বা সংক্ষেপে **ঘর্ষণ (Force of friction)** বলে।

মনে কর কোন অনুভূমিক টেবিলের উপর ভারী একটি বস্তু রাখা আছে (1·9a চিত্র)। উহার ওজন W খাড়া নিচের দিকে ক্রিয়া করে। টেবিলের প্রতিক্রিয়া R বস্তুটির উপর খাড়া উপরের দিকে ক্রিয়া করে। বস্তুটি এই দুই বলের ক্রিয়ায় স্থির আছে; $R=W$। [বুঝাইবার সুবিধার জন্য ছবিতে উহাদের আলাদা রেখায় দেখান হইয়াছে; আসলে উহারা একই রেখায় ক্রিয়া করে। W-র ক্রিয়ারেখা বস্তুটির ভারকেন্দ্র (3.2 বিভাগ) দিয়া যায়; R-ও।]

বস্তুটির উপর অনুভূমে স্বল্প বল P প্রয়োগ করা গেল (1·9b চিত্র)। বস্তুটি

চিত্র 1·9

[R এবং F বলের লব্ধি S-কে 'যুক্ত প্রতিক্রিয়া' (Resultant reaction) বলে]

ইহাতে নড়িবে না। বস্তুটি ও টেবিলের স্পর্শতলে ঘর্ষণের বল F ক্রিয়া করিয়া P-কে প্রতিমিত (balance) করিবে। P ও F মানে সমান এবং ক্রিয়ামুখে বিপরীত হইবে। P আস্তে আস্তে বাড়াইলে F-ও বাড়িতে থাকে এবং F P-কে নিষ্ক্রিয় রাখে। কিন্তু P

একটি সীমা ছাড়াইলে তখন বস্তুটি P-র ক্রিয়ারেখায় চলিতে আরম্ভ করে (1·9c চিত্র)। গতি একবার আরম্ভ হইয়া গেলে F-র মান একটু কমে (1·9d চিত্র)। গতি আরম্ভ হইবার ঠিক আগের মুহূর্তেই F-এর মান চরম। F-এর এই চরম মানকে 'স্থিতীয় ঘর্ষণের সীমান্ত মান' (limiting value of static friction) বা সংক্ষেপে 'ঘর্ষণের সীমান্ত মান' (limiting friction বা static fricion) বলে। চলার পরে ঘর্ষণের মান কমিয়া যাহা দাঁড়ায় তাহাকে 'গতীয় ঘর্ষণের মান' (Force of sliding friction বা kinetic friction) বলে।

স্থির অবস্থার ঘর্ষণ সম্বন্ধে 'স্থিতীয় ঘর্ষণ' (static friction) ও সচল অবস্থার ঘর্ষণ সম্বন্ধে 'গতীয় ঘর্ষণ' (kinetic friction) কথা দুইটি ব্যবহৃত হয়।

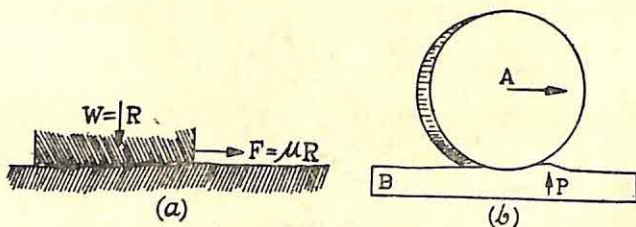
উপরের কথাগুলির **সারাংশ** নিচে বলা হইল ঃ

(১) ঘর্ষণ স্বতো-নিয়ন্ত্রক (Self-adjusting) বল, এবং শূন্য হইতে উহা একটা চরমমান পর্যন্ত বাড়ে। গতি শুরু না হইলে, গতিদায়ক বলকে নিষ্ক্রিয় করিতে যতটুকু বাধার দরকার হয়, ঠিক ততটুকু ঘর্ষণ সক্রিয় হয়।

(২) এক বস্তু অন্য বস্তুর যে তল ঘেঁষিয়া চলে বা চলিতে প্রয়াস পায়, ঘর্ষণ সেই স্পর্শতলে গতির বিপরীতে ক্রিয়া করে।

(৩) গতি শুরু হইবার ঠিক আগের মুহূর্তে ঘর্ষণ সবচেয়ে বেশী। এই সময়ের মানকে স্থিতীয় **ঘর্ষণের সীমান্ত মান (Limiting friction)** বলে। এই সময়ের সাম্যকে বলে **সীমান্ত সাম্য (Limiting equilibrium)**।

(৪) গতি শুরু হইলে ঘর্ষণের সীমান্ত মান একটু কমে। ইহাকে **গতীয় ঘর্ষণ (Force of dynamic বা kinetic friction)** বলে।

গড়ান ঘর্ষণ (Rolling friction)। একটি বস্তু অন্য বস্তুর উপর দিয়া গড়াইয়া চলিলে ঘর্ষণ ঘষিয়া চলার ঘর্ষণের চেয়ে অনেক কম হয়। উহার স্থিতীয় মান গতীয় মানের চেয়ে বেশী। চাকার সাহায্যে ঘষাণ ঘর্ষণ (sliding friction) গড়ান ঘর্ষণে (rolling friction) পরিণত হয়। গড়ান ঘর্ষণের সূত্রগুলি তত ভাল জানা নাই। তবে গড়ান ঘর্ষণ ঘষাণ ঘর্ষণের চেয়ে অনেক কম, এবং উহা চাকার ব্যাসের বিষমানুপাতিক।

চিত্র 1·10

ঘর্ষণের কারণ (Causes of friction)। কঠিন পদার্থের তল (surface) যতই মসৃণ করা যাক না কেন, উহাতে খুব সামান্য হইলেও কিছু অসমতলতা থাকিয়া যায়। ঘষিয়া চলিবার সময় এক তলের উঁচু জায়গাগুলি অন্য তলের নিচু জায়গাগুলিতে

অল্পবিস্তর আটকায় (1.10*a* চিত্র)। এই অসমতলতার জন্য একটি বস্তু অন্য বস্তুর উপর দিয়া ঘষিয়া চলিতে অল্পবিস্তর বাধা পায়। গড়ানে (Rolling) ঘর্ষণে নিচের তল উপরের বস্তুর ভারে একটু দাবিয়া যায় এবং স্পর্শতলের দুপাশ একটু উঁচু হয় (1·10*b* চিত্র)। চলিবার সময় গড়ানে বস্তুটিকে সব সময় এইটুকু উপরে উঠিবার চেষ্টা করিতে হয় ; ইহাই গড়ানে ঘর্ষণে বাধার কারণ। তা ছাড়া, উভয় রকম (ঘষাণে ও গড়ানে) ঘর্ষণেই দুই তলের স্পর্শবিন্দুগুলিতে একের অণু অন্যের অণুগুলিকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ অতিক্রম করিয়া চলিতেও বলের দরকার হয়।

ঘর্ষণের সুবিধা ও অসুবিধা (Advantages and disadvantages of friction)। ঘর্ষণ সকল ক্ষেত্রে গতিতে বাধা দেয়, যন্ত্রপাতির দক্ষতা (efficiency) কমায় ও ক্ষয় বাড়ায় এবং শক্তির অপচয় ঘটায়। কিন্তু ঘর্ষণ না থাকিলেও আমাদের চলিত না। ঘর্ষণের জন্যই আমরা হাঁটিতে, গাড়ি চালাইতে বা থামাইতে, বেল্টের সাহায্যে যন্ত্রপাতি ঘুরাইতে এবং অন্য নানারকম প্রয়োজনীয় কাজ করিতে পারি।

ঘর্ষণ কমান (Reduction of friction)। (১) **স্নেহায়ন (Lubrication)।** ঘর্ষণে শক্তির অপচয় এবং যন্ত্রপাতির ক্ষয় কমাইবার জন্য আমরা যন্ত্রে 'স্নেহক' (Lubricant) পদার্থ ব্যবহার করি। অধিকাংশ স্নেহক তেল জাতীয় পদার্থ। ঠিকমত স্নেহায়িত (lubricated) তল পরস্পরের সংস্পর্শে থাকে না; উহাদের মাঝখানে স্নেহকের একটি সূক্ষ্ম স্তর থাকে। কাজেই স্নেহায়িত হইলে দুই কঠিন তলের ঘর্ষণ তরলের ঘর্ষণে পরিণত হয় ; ইহার মান অনেক কম। ভাল স্নেহক পদার্থ কঠিন তলের গায়ে লাগিয়া থাকে। খনিজ ও উদ্ভিজ্জ তেলের মিশ্রণ ভাল স্নেহক। কোন কোন ক্ষেত্রে উহার সহিত একটু গ্রাফাইটের গুঁড়া মিশাইলে ক্রিয়া ভাল হয়।

(২) ঘুরন্ত যন্ত্রাংশ বা কলে 'বল বেয়ারিং' (Ball bearing) বা 'রোলার বেয়ারিং' (Roller bearing)-এর সাহায্যে ঘর্ষণ কমান হয়। ইহাতে ঘুরন্ত তল ঘষিয়া না চলিয়া একে অন্যের উপর ঘুরিয়া চলে। এরূপ বেয়ারিং ব্যবহারে ঘষিয়া চলার বাধা গড়াইয়া চলার বাধায় পরিণত হয়।

1-9.1. ঘর্ষণের সূত্র (Laws of friction)। দুটি শুকনা কঠিন তলে ঘর্ষণ সংক্রান্ত কয়েকটি তথ্য অনেকদিন হইতেই জানা আছে। ইহাদের 'ঘর্ষণের সূত্র' বলা হয়। (নিউটনের সূত্র যে অর্থে 'সূত্র' এগুলি তাহা নয় ; এগুলি পরীক্ষামূলক এবং মোটামুটি সত্য।) সূত্রগুলি নিচে বলা হইল :

(১) দুইটি তল পরস্পর সংস্পর্শে থাকিলে উহাদের অভিলম্বে যে বল (Normal reaction ; অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া) ক্রিয়া করে, পরীক্ষায় দেখা যায় স্থিতীয় সীমান্ত ঘর্ষণ (F) এবং গতীয় ঘর্ষণ (F') ঐ বলের আনুপাতিক। বল/প্রতিক্রিয়া অনুপাতকে ঘর্ষণ গুণাংক (Coefficient of friction) বলে।

স্থিতীয় ঘর্ষণ গুণাংক (Coefficient of static friction) :

$$\mu=\frac{F}{R}=\frac{\text{স্থিতীয় ঘর্ষণের সীমান্ত মান}}{\text{অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া}} \tag{1-9.1}$$

গতীয় ঘর্ষণ গুণাংক (Coefficient of kinetic friction) :

$$\mu'=\frac{F'}{R}=\frac{\text{গতীয় ঘর্ষণের মান}}{\text{অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া}} \tag{1-9.2}$$

(২) দুই পদার্থে ঘর্ষণের সীমান্ত মান উহাদের (ক) প্রকৃতি ও (খ) সংস্পর্শে অবস্থিত দুই তলের অবস্থার উপর নির্ভর করে। (প্রকৃতি বলিতে পদার্থ কাঠ, লোহা, চামড়া বা কি প্রকার পদার্থ তাহা বুঝায়।)

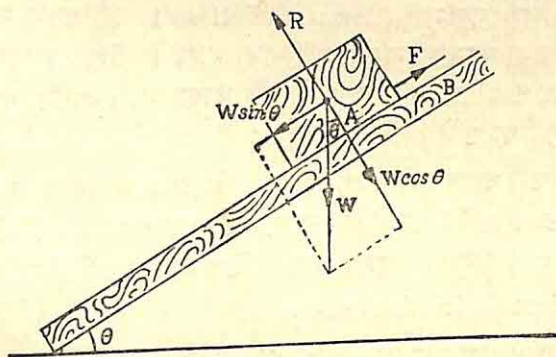
(৩) অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার মান না বদলাইলে সংস্পর্শে অবস্থিত দুই তলের ক্ষেত্রফলের উপর ঘর্ষণের সীমান্ত মান নির্ভর করে না। (মেজেতে একখানা ইট যে ভাবেই রাখা যাক, ইট ও মেজের ঘর্ষণের মান একই থাকিবে।)

(৪) অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া একই থাকিলে বেগের নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে গতীয় ঘর্ষণের বল স্পর্শতলের ক্ষেত্রফল এবং দুই বস্তুর আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভর করে না।

কাজের ক্ষেত্রে গতীয় ঘর্ষণের বল বা গতীয় ঘর্ষণ গুণাংকই আমাদের কাছে বেশী দরকারী ; কারণ সচল বস্তু ঘর্ষণে কি বাধা পাইতেছে তাহার মূল্যই বেশী। স্থির অবস্থায় ঘর্ষণের বল সীমান্ত মানের চেয়ে সাধারণত কমই থাকে।

গতীয় ঘর্ষণ গুণাংকের সারণি

কাঠে ও কাঠে	0·2 – 0·5	কাঠে ও পাথরে	0·6 – 0·7
শুকনা চামড়া ও ধাতুতে	0·56	মাটিতে ও মাটিতে	0·25 – 1·0
তেলে ভিজা চামড়া ও ধাতুতে	0·15	তেল লাগান মসৃণ তলে	0·03 – 0·036
ধাতু ও ধাতুতে (শুকনা)	0·15 – 0·20	লোহায় ও পাথরে	0·4

1-9.2. বিশ্রাম- বা বিরাম-কোণ (Angle of repose)। 1·11 চিত্রে B একটি নততল এবং A উহার উপর অবস্থিত কোন বস্তু। B-র নতিকোণ θ শূন্য

চিত্র 1·11

হইতে ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে দেখা যাইবে θ বিশেষ কোন মান ছাড়াইলে A হড়কাইয়া নামিতে থাকে। তাহার আগ পর্যন্ত A B-র উপর সাম্যে থাকে। θ-র এই বিশেষ মানকে বিশ্রাম-কোণ বা বিরাম-কোণ বলে। নততলের উপর অবস্থিত কোন বস্তু নতিকোণের যে চরমমান পর্যন্ত না হড়কাইয়া স্থির থাকিতে পারে তাহাই

বিশ্রাম-কোণ। বস্তু এবং তলের পদার্থ এবং স্পর্শতলের অবস্থার উপর বিশ্রাম-কোণের মান নির্ভর করে।

1·11 চিত্রে ধরা যাক A-র ওজন W। সাম্যকালীন কোন অবস্থায় নতিকোণ θ হইলে, তলের অভিলম্বে W-র উপাংশ $W\cos\theta$ এবং তলের সমান্তরালে উপাংশ $W\sin\theta$। A সাম্যে থাকায় A-র উপর অন্য বল এই দুই উপাংশের সমান ও বিপরীত ক্রিয়া করিবে। $W\sin\theta$ উপাংশের জন্য বস্তুটি তল বাহিয়া হড়কাইয়া নামিতে চাহিবে। দুই তলের মধ্যে ঘর্ষণজনিত বল ইহার সমান ও বিপরীত হইবে। $W\cos\theta$ তলের অভিলম্বে A-কে তলের সঙ্গে চাপিয়া ধরে। A-র উপরে B-র প্রতিক্রিয়াজনিত বল $R = W\cos\theta$ হইবে।

ঘর্ষণজনিত বলের সর্বোচ্চ মানের সীমা আছে। এই সীমান্ত মান F হইলে $F = W\sin\theta$ সমীকরণ দিয়া θ-র সর্বোচ্চ মান নির্ণীত হইবে। এই মানকে $\alpha(\theta=\alpha)$ ধরিলে α-ই বিশ্রাম-কোণ। অতএব সীমান্ত সাম্যে

$$W\sin\alpha = F \text{ এবং } W\cos\alpha = R \qquad (1\text{-}9.3)$$

অতএব, $\tan\alpha = F/R =$ স্থিতীয় ঘর্ষণ গুণাংক μ (1-9.4)

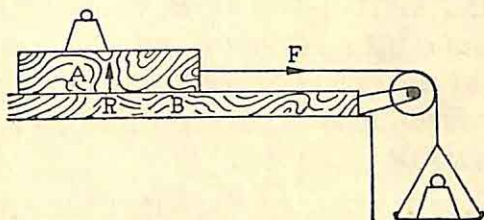
কোন বস্তু ঘর্ষণের সীমান্ত সাম্যে থাকিলে ঘর্ষণ F ও অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া R-এর লব্ধি S-কে (1·9 চিত্র) যুক্ত-প্রতিক্রিয়ার চরম মান, এবং R ও S-এর মধ্যবর্তী কোণ β-কে **ঘর্ষণ-কোণ** বলে। বিশ্রাম-কোণ ও ঘর্ষণ-কোণের মান একই। যুক্ত-প্রতিক্রিয়া অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার সঙ্গে ঘর্ষণ কোণের চেয়ে বড় কোণ উৎপন্ন করিতে পারে না।

1-9.3. ঘর্ষণ গুণাংক নির্ণয়। (ক) নততলের সাহায্যে ইহা করিতে হইলে পরীক্ষণীয় বস্তুটি (1·11 চিত্রের A)-কে নততল B-র উপর রাখিয়া আস্তে আস্তে নতিকোণ বাড়াইতে হইবে। সঙ্গে সঙ্গে তলে একটু টোকা দেওয়া ভাল। যে ন্যূনতম নতিকোণে বস্তুটি নিচের দিকে প্রথম নামিবে তাহাই বিশ্রাম-কোণ α এবং $\tan\alpha = \mu$ = স্থিতীয় ঘর্ষণ গুণাংক। কয়েকবার এই পরীক্ষা করিয়া α-র গড়মান নিতে হইবে।

বিশ্রাম-কোণ অপেক্ষা নতিকোণ সামান্য কম হইলে বস্তুটিকে নিচের দিকে একটু ঠেলিয়া দিলে উহা সুষমবেগে নিচে নামিতে পারে। বার বার চেষ্টা করিয়া দেখা যাইতে পারে কোন্ নতিকোণে এরূপ হয়। এই কোণের মান α' হইলে $\tan\alpha' = \mu' =$ গতীয় ঘর্ষণ গুণাংক।

সঠিকভাবে এই মানগুলি বাহির করা কঠিন। α যেমন বস্তু ও তলের উপর নির্ভর করে, তেমনই তলের অবস্থার উপরও উহা খানিকটা নির্ভর করে। তলে আবদ্ধ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ, ধূলাবালি ইত্যাদির জন্য α-র মান কিছুটা বদলায়।

(খ) অনুভূমিক তলের সাহায্যেও পরীক্ষা দুটি করা যায়। 1·12 চিত্রে ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে। পরীক্ষণীয় বস্তু A-র সঙ্গে সুতা বাঁধিয়া মসৃণ ও হালকা কপিকলের উপর দিয়া সুতাগাছা নিয়া উহার অপর প্রান্তে একটি হালকা তুলাপাত্র বাঁধিয়া পাত্রে আস্তে আস্তে ওজন চাপাইতে হয়। তুলাপাত্র সমেত মোট যে ওজনে A সরিতে আরম্ভ করে তাহাই নির্ণেয়। আগের পরীক্ষার মত ইহাও কয়েকবার

করা দরকার। A-র উপর বিভিন্ন ভার চাপাইয়া বারবার পরীক্ষা করা ভাল। ইহাতে অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া R বদলান হয় এবং F-ও বদলায়। ভারসমেত A-র মোট ওজন R হইলে এবং ঐ অবস্থায় তুলাপাত্রসমেত পাত্রস্থ ওজনের মান F হইলে $\mu = F/R$।

চিত্র 1·12

গতীয় গুণাংক μ' পাইতে A-কে ঠেলা দিয়া দেখিতে হইবে F-এর মান সবচেয়ে কম কত হইলে A সমবেগে সরিতে থাকে। এই ন্যূনতম মান F' হইলে এবং ঐ অবস্থায় ভারসমেত A-র মোট ওজন R হইলে $\mu' = F'/R$।

প্রশ্ন। 1. (ক) স্থিতীয় এবং গতীয় ঘর্ষণ কাহাকে বলে? উহাদের গুণাংক বলিতে কি বুঝায়?

(খ) একটি লোক দুই হাতে অনুভূমিকভাবে 2 kg বল প্রয়োগ করিয়া তাহার দুই হাতের মধ্যে 1 kg ওজনের একখানা বই খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিতে পারে। বল কম হইলে বইখানা পড়িয়া যায়। বই ও হাতের মধ্যে ঘর্ষণ গুণাংক কত? [উঃ 0·25]

(গ) মেজের উপর দিয়া 80 kg ওজনের একটি বাক্স ঠেলিয়া সরাইতে কমপক্ষে 20 kg অনুভূমিক বলের দরকার হয়। 60 kg ওজনের একজন লোক দেখিল চামড়ার জুতা পরিয়া সে বাক্সটিকে সরাইতে পারে না; কিন্তু অসমতল রবারের জুতা পরিয়া লইলে পারে। ইহার কারণ কি হইতে পারে?

2. ঘর্ষণের সূত্রগুলি বল ও উহাদের সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর। ঘর্ষণ কিভাবে কমান যায়?

3. কারণ দেখাইয়া নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—

(ক) পিছল পথের উপর লম্বা লম্বা পা ফেলিয়া হাঁটা যায় না কেন?

(খ) মোটরগাড়ি বা সাইকেলের টায়ার মসৃণ না করিয়া এবড়ো-খেবড়ো করা হয় কেন?

(গ) বোতলে ছিপি আঁটিয়া গেলে উহা খুলিতে ছিপিটি আমরা শিরিস কাগজ দিয়া ধরি বা বোতলের মুখে একটু তেল দেই কেন?

(ঘ) ভারী মালগাড়ি টানিতে কখন কখন ইঞ্জিনের চাকা ঘুরিয়া যায়, অথচ গাড়ি চলে না। রেললাইন ও চাকার মাঝখানে বালি ছড়াইয়া দিলে গাড়ি সহজে চলিতে পারে কেন?

অনুশীলনী

1. (ক) 'স্থিতি' ও 'গতি' কথা দুইটিকে আমরা আপেক্ষিক কেন বলি বুঝাইয়া বল।

(খ) 'ত্বরণ' বলিতে কি বুঝায় উদাহরণ দিয়া বল।

(গ) কোন অসম রাশির 'গড় মান' ও 'তাৎক্ষণিক মান' কাহাদের বলে? কোন্ ক্ষেত্রে গড় মান ও তাৎক্ষণিক মান সমান হয়?

2. 'নির্দেশ ফ্রেম' (Reference frame) কাহাকে বলে বুঝাইয়া বল। 'স্থানাংক' বলিতে কি বুঝায়?

3. (ক) $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ ও (খ) $v^2-u^2=2fs$ সমীকরণ ছুটি প্রতিষ্ঠা কর। সংকেতগুলির অর্থ পরিষ্কার করিয়া বল।

(খ) অভিকর্ষের ক্রিয়ায় খাড়া রেখায় পড়া ও ওঠার ক্ষেত্রে গতীয় সমীকরণগুলি কি কি হইবে লেখ। ত্বরণকে g বলিবে, এবং অতিক্রান্ত দূরত্বকে h। [সংকেত: দরকার হইলে 'পদার্থের ধর্ম' অংশের 1-8 বিভাগ্ দেখ।]

4. স্কেলার ও ভেকটর রাশি কাহাদের বলে উদাহরণ দিয়া বল। ভেকটর রাশি রেখাংশ দিয়া কি ভাবে প্রকাশ করা যায়? সমকোণী অক্ষীয় নির্দেশতন্ত্রে (co-ordinate system) কোন ভেকটরের উপাংশগুলি কি ভাবে পাওয়া যায়? গণিতের ভাষায় উপাংশগুলি কি ভাবে প্রকাশ করিবে?

5. ভেকটর রাশির যোগ ও বিয়োগের সূত্র ছুটি ছবি আঁকিয়া বুঝাও। ভেকটরের স্বাতন্ত্র্য তত্ত্ব বলিতে কি বুঝায়?

6. (ক) P ও Q ভেকটর পরস্পরের সঙ্গে θ কোণে আনত। উহাদের লব্ধির মান ও দিক্ বাহির কর।

(খ) u_1 ও u_2 দুইটি বেগ একসঙ্গে একই কণার উপর ক্রিয়া করে। উহারা পরস্পরের সঙ্গে α কোণে আনত হইলে উহাদের লব্ধি u-র মান কত হইবে, এবং u রাশিটি u_2-র সঙ্গে কি কোণে আনত থাকিবে?

(গ) F_1 ও F_2 বল দুইটি এক সঙ্গে একই কণার উপর ক্রিয়া করে। উহারা পরস্পরের সঙ্গে θ কোণে আনত। উহাদের লব্ধি F-এর মান এবং F ও F_1-এর মধ্যবর্তী কোণ কত?

(ঘ) বেগের স্বাতন্ত্র্যতত্ত্ব ও বলের স্বাতন্ত্র্যতত্ত্ব ভাষায় প্রকাশ কর। সব চেয়ে কম সময়ে নদী সাঁতরাইয়া পার হইতে হইলে কোন্ দিকে সাঁতার কাটিতে হইবে, এবং কেন?

7. F_1 ও F_2-বলের মধ্যবর্তী কোণ α, উহাদের লব্ধি F ও F_1-এর মধ্যবর্তী কোণ β এবং F ও F_2-র মধ্যবর্তী কোণ γ হইলে বলগুলি ও কোণগুলির মধ্যে কি সম্পর্ক থাকিবে? [সংকেত: 1-5.3 সমীকরণ দেখ। উ: $F/\sin\alpha=F_1/\sin\gamma=F_2/\sin\beta$]

8. একই কণার উপর সমতলে তিনটি বল ক্রিয়া করে। উহার একটি পূবদিকে 100 dyn, দ্বিতীয়টি উত্তরদিকে 200 dyn এবং তৃতীয়টি উত্তর-পশ্চিমদিকে 200 dyn। বলগুলি উপাংশে ভাঙিয়া উহাদের লব্ধির মান ও দিক্ বাহির কর। [সংকেত: 1-5.4 ও 1-5.5 সমীকরণ দেখ।]

9. বলের বা বেগের সংযোজন ও বিয়োজন (Composition and resolution) বলিতে কি বুঝায়? কোন্ দিকে বলের, বেগের বা ত্বরণের বিভক্তাংশ (Resolved part) কাহাকে বলে?

কোন ভেকটর **A** কোন অক্ষের সঙ্গে θ কোণে আনত। ঐ অক্ষে **A**-র বিভক্তাংশ A_x বলিতে কি বোঝ?

10. A ও B যথাক্রমে u_1 ও u_2 বেগে চলন্ত দুইটি বস্তু। A হইতে B-র বেগ কত এবং কোন্ দিকে বলিয়া মনে হইবে? [1-6 বিভাগ দেখ]

11. উপর হইতে 2 s সময়ের ব্যবধানে স্থির অবস্থা হইতে দুইটি ঢিল ছাড়িয়া দেওয়া হইল। অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g=980\ \text{cm/s}^2$। উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব প্রথমে কত? পরে উহা বাড়িবে কি কমিবে বুঝাও।

[সংকেত: 1-6.1 সমীকরণ দেখ। উ: 1960 cm ব্যবধান; দূরত্ব সময়ের সঙ্গে সেকেণ্ডে 1960 cm হারে বাড়িবে।]

12. (ক) গতিসংক্রান্ত নিউটনের সূত্র তিনটি বল এবং 30 হইতে 40 লাইনে উহাদের সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

(খ) গতিজড়তা ও স্থিতিজড়তা কি, উদাহরণ দিয়া বুঝাও।

(গ) $P=mf$ (1-7.2 সমীকরণ) প্রতিষ্ঠা কর।

13. (ক) নিউটনের প্রথম সূত্র 'জাড্য' (Inertia) ও 'বল' (Force) এই দুটি কল্পনের অবতারণা করে—এই উক্তিটির অর্থ বুঝাইয়া বল।

(খ) নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র বলের এবং জাড্যের মান মাপিবার উপায় নির্দেশ করে—এই উক্তিটি বুঝাইয়া বল। [1-7.2 ও 1-7.4 বিভাগ দেখিও। 'ভর' কথাটি কোন বস্তুর জাড্যের পরিমাণ নির্দেশ করে।]

14. Dyne, newton, gram-weight, kilogram-weight বলিতে কি কি বুঝায়? শেষের তিনটি রাশির চিহ্ন কি? রাশি তিনটিকে dyne-এ প্রকাশ কর। ($g=980$ cm/s² ধর।)

15. বলের ঘাত (Impulse) এবং ঘাতবল (Impulsive force) কাহাদের বলে, উদাহরণ দিয়া বুঝাও। বলের ঘাতের সঙ্গে ভরবেগের পরিবর্তনের সম্পর্ক স্থাপন কর।

16. নিউটনের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রে যে বস্তুর উল্লেখ, তৃতীয় সূত্রে তাহা ছাড়া আর একটি বস্তুর উল্লেখ আছে—এই উক্তিটি উদাহরণ দিয়া বুঝাইয়া বল।

ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত হওয়া সত্ত্বেও কোন বস্তু বল প্রয়োগে চলে কেন?

17. রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র ভাষায় প্রকাশ কর এবং উহা প্রতিষ্ঠা কর। কি অর্থে আমরা বলিতে পারি যে নিউটনের প্রথম সূত্র তৃতীয় সূত্রে নিহিত আছে? [1-8 বিভাগ ভাল করিয়া দেখিয়া নাও]

ভরবেগ সংরক্ষণের তিনটি উদাহরণ দাও। ইহার ভিত্তিতে রকেটের গতি আলোচনা কর।

18. স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ (Elastic collision) কাহাকে বলে? দুইটি সমান ভরের কণার একটি স্থির। অন্যটি v বেগে চলিয়া প্রথমটিতে ধাক্কা দিল। প্রমাণ কর যে সংঘর্ষ স্থিতিস্থাপক হইলে সচল কণা থামিয়া যাইবে এবং স্থির কণা প্রথমটির বেগ নিয়া চলিবে। [সংকেতঃ 1-8.10 সমীকরণ দেখ।]

19. 'ঘর্ষণ স্বতোনিয়ন্ত্রিত বল'—একথা বলিতে কি বুঝায়? কি অবস্থায় ঘর্ষণ ক্রিয়া করে? ঘর্ষণ কি ভাবে কমান যায়। ঘর্ষণ গুণাংক কাহাদের বলে? উহাদের কোন্‌টি কার্যক্ষেত্রে বেশী প্রয়োজনীয়?

20. একটি কণা 5 cm/s² ত্বরণে চলিতেছে। ইহার আদিবেগ 100 cm/s হইয়া থাকিলে 20 s পরে ইহার বেগ কত হইবে এবং ঐ সময়ে কণাটি কতদূর যাইবে? [উ ঃ 200 cm/s ; 3000 cm]

21. একখানা মোটর গাড়ি 20 m/s বেগে যাইতেছে। উহার বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 5 m/s হারে মন্দিত করা হইল। গাড়িখানা কতদূর গিয়া থামিবে এবং থামিতে কত সময় লাগিবে?

[উ ঃ 4 s ; 40 m]

গাড়িখানাকে (ক) ঐ দূরত্বের এক-চতুর্থাংশ পথে থামাইতে হইলে; বা (খ) ঐ সময়ের এক চতুর্থাংশ সময়ে থামাইতে হইলে, গাড়ির মন্দন কত হওয়া দরকার? [উঃ উভয়ক্ষেত্রে 20 m/s²]

22. 20 m উঁচু একটি বাড়ীর ছাদের পাশ হইতে ভূমির সমান্তরালে 10 m/s বেগে একটি ঢিল ছোড়া হইল। ঢিলটি বাড়ী হইতে কতদূরে মাটিতে পড়িবে? মাটি ছুঁইবার সময় মাটির সঙ্গে উহার গতিপথের কোণ কত? ($g=9.8$ m/s²)

[সমাধান ঃ ঢিলটির এক সঙ্গে দুইটি বেগ আছে—(১) অনুভূমে নিক্ষেপের বেগ u_1 এবং (২) অভিকর্ষের ক্রিয়ায় নিচে পড়ার বেগ (u_2)। বেগ স্বাতন্ত্র্যের জন্য এক বেগ অন্য বেগের ক্রিয়া ব্যাহত করে না।

প্রথমে $h=\frac{1}{2}gt^2$ বা $20\text{m}=\frac{1}{2}\times 9{\cdot}8\ \text{m/s}^2\times t^2$ সমীকরণ হইতে ঢিলটির মাটিতে পড়ার সময় t বাহির কর। এই সময়ে পড়ার বেগ u_2 হইবে gt। t সময়ে 10 m/s (u_1) বেগে ঢিলটি অনুভূমে যাইবে $10t$ মিটার। বাড়ী হইতে এই দূরত্বে উহা মাটি স্পর্শ করিবে। u_1 ও u_2 পরস্পর সমকোণে। উহাদের লব্ধি ও u_1 বা u_2-র সঙ্গে উহার কোণ বাহির কর। u_1 অনুভূমে, u_2 খাড়া।]

23. বলের বিভক্তাংশ (Resolved part) বলিতে কি বুঝায় ?

দড়িটানাটানি খেলায় (tug-of-war) একদলের খেলোয়াড়রা একই সরলরেখায় দড়ি টানিবে, না একটু আঁকাবাঁকা করিয়া টানিবে ? কোন্‌টি ভাল বুঝাইয়া বল।

অনুভূমের সঙ্গে 30° কোণে আনত মসৃণ তলের উপর 2 kg ওজনের একটি বস্তু রাখা আছে। তল বাহিয়া বস্তুটিকে নামাইতে কত বল ক্রিয়া করে ? উহাতে ত্বরণ কত হয় ? $(g=9{\cdot}8\ m/s^2)$

[উঃ 9·8 N বা $9{\cdot}8\times10^5$ dyn ; 4·9 m/s^2]

24. 50 kg বলে কোন বস্তুকে পুবদিকে এবং 20 kg বলে উহাকে একই সময়ে উত্তর হইতে 60° কোণে পুবদিকে টানা হইল। দুই বলের লব্ধির মান ও দিক্‌ বাহির কর।

[উ : 62·4 kg বল, লব্ধির ক্রিয়ারেখা পুবের সঙ্গে উত্তরদিকে θ কোণ করিলে $\tan\theta=1/2\sqrt{3}$ ।]

25. দুই বলের লব্ধি বলের একটির সঙ্গে 30° ও অন্যটির সঙ্গে 45° কোণ উৎপন্ন করে। লব্ধির মান 10 kg হইলে, বল দুইটির মান কত ?

26. 2 g ওজনের একটি কণার উপর 26 dyn বল পুব হইতে উত্তরদিকে θ কোণে ক্রিয়া করে। $\tan\theta=5/12$। এই বল কণাকে 5 সেকেণ্ডে পুবদিকে কতখানি সরাইবে ? [সংকেত : পুবদিকে বলের বিভক্তাংশ $26\cos\theta=24$ dyn। এই বল কণাকে সেকেণ্ডে 12 cm/s^2 ত্বরণ দেয়। 5 সেকেণ্ডে কণা $s=\frac{1}{2}\times12\times(5)^2$ cm যাইবে।]

27. 150 g ওজনের একটি বল 10 m/s বেগে যাইতেছিল। উহাকে 0·2 সেকেণ্ডে থামান হইল। থামাইতে কত বল প্রয়োগ করা হইয়াছিল ? [উঃ $7{\cdot}5\times10^5$ dyn]

28. 10 g ওজনের একটি গুলি 1 kg ওজনের একটি ঝুলান বন্দুক হইতে ছোড়া হইল। গুলিটি 990 g ওজনের একখণ্ড কাঠে ঢুকিয়া আটকাইয়া রহিল। গুলির বেগ 500 m/s হইয়া থাকিলে বন্দুকটি কি বেগে পিছাইবে ? কাঠখণ্ডের বেগ কত হইবে ? [উঃ উভয়ই 5 m/s]

29. 50 kg ওজনের একটি ছেলে লিফ্‌টে দাঁড়াইয়া আছে। (ক) লিফ্‌ট স্থির থাকিলে, (খ) 4·9 m/s^2 ত্বরণে উপরে উঠিলে, (গ) সুষম বেগে উপরে উঠিলে, (ঘ) উপরে উঠিতেছে কিন্তু তখন মন্দন 4·9 m/s^2 হইলে কোন্‌ ক্ষেত্রে লিফ্‌টের মেজ ছেলেটির উপর কত বল প্রয়োগ করে ?

$(g=9{\cdot}8\ m/s^2)$

[উঃ (ক) 50 kg-wt ; (খ) 75 kg-wt ; (গ) 50 kg-wt ; (ঘ) 25 kg-wt.]

30. এরোপ্লেনে একজন যাত্রী বসিয়া আছেন। কি কি অবস্থায় প্লেন ও যাত্রীর ভিতরে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া (ক) যাত্রীর ওজনের সমান, (খ) যাত্রীর ওজনের চেয়ে বেশী, (গ) যাত্রীর ওজনের চেয়ে কম, এবং (ঘ) শূন্য হইবে ? [উঃ (ক) প্লেন থামিয়া থাকিলে বা সুষম বেগে চলিলে ; (খ) উঠিতে থাকিলে ; (গ) নামিতে থাকিলে ; (ঘ) অভিকর্ষীয় ত্বরণে নিচে নামিতে থাকিলে।]

31. একটি বন্দুকের নল 50 cm লম্বা। উহা হইতে 10 g ওজনের একটি গুলি 400 m/s বেগে বাহির হয়। নলের ভিতর গুলির গড় ত্বরণ কত ? গড়ে গুলিটির উপর কি বল ক্রিয়া করে ?

[উঃ $1{\cdot}6\times10^7$ cm/s^2 ; $1{\cdot}6\times10^8$ dyn]

32. 50 g ওজনের একটি গোলা 300 m/s বেগে ছোড়া হইল। উহা লক্ষ্যে 2·5 cm ঢুকিয়া থামিল। বাধার বল কত ? থামিতে গোলার কত সময় লাগিয়াছিল ?

[উঃ 9×10^9 dyn ; 1/6000 s]

33. (ক) 20 m উঁচু একটি স্তম্ভ হইতে একটি ঢিল খাড়াভাবে স্থির অবস্থা হইতে নিচের দিকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। একই সময়ে 10 m/s বেগে ভূমি হইতে আর একটি ঢিল খাড়া উপরে ছোড়া হইল। দুটিতে কোন্‌ উচ্চতায় একই অনুভূমিক তলে আসিবে ? $(g=9{\cdot}8\ m/s^2)$

[সংকেত : প্রথম ঢিলের নিচমুখী গতির সমীকরণ $h_1 = \frac{1}{2}gt^2$; দ্বিতীয়ের উর্ধ্বমুখী গতির সমীকরণ $h_2 = ut - \frac{1}{2}gt^2$ । উভয়ে এই দুই গতিতে কাছে আসিতেছে। ইহাদের যোগফল $h_1 + h_2 = ut$। $h_1 + h_2 = 20$ m এবং $u = 10$ m/s বলিয়া $t = 2$ s, অর্থাৎ গতি আরম্ভের 2 s পরে উভয়ে একই উচ্চতায় থাকিবে। এই উচ্চতা ভূমি হইতে $10 \times 2 - \frac{1}{2} \times 9{\cdot}8 \times 4 = 0{\cdot}4$ m]

(খ) দ্বিতীয় ঢিলটি উঠিবার সময় না নামিবার সময় প্রথমটির সঙ্গে এক অনুভূমিক তলে আসিবে?

[উ : নামিবার সময়, কারণ উহা উচ্চতম বিন্দুতে $u/g = 10/9{\cdot}8$ সেকেণ্ড পরে পৌঁছায়।]

34. সুষম ত্বরণে চলিয়া কোন কণা 2 m পথ অতিক্রম করিল। পথের আদিবিন্দুতে উহার বেগ ছিল 100 cm/s এবং শেষবিন্দুতে বেগ হইল 300 cm/s। কণার ত্বরণ কত? ঐ পথ যাইতে উহা কত সময় নিয়াছে?

[উঃ ত্বরণ 200 cm/s^2 ; সময় 1 s]

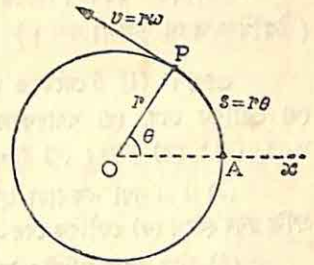
35. একজন লোক একটি উঁচু স্তম্ভের উপর হইতে u বেগে একটি ঢিল উপর দিকে ছুড়িয়া দিল। আর একটি ঢিল একই স্থান হইতে সে নিচের দিকে ছাড়িয়া দিল। মাটি ছুঁইবার সময় দুই ঢিলে বেগের তফাত থাকিবে কি না আলোচনা কর।

36. একটি কণা স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় পড়িয়া শেষ সেকেণ্ডে উহার মোট পথের অর্ধেক অতিক্রম করিল। কণাটি কতক্ষণ ধরিয়া পড়িয়াছে? উহা কত উঁচুতে ছিল? প্রশ্নটি সমাধান করিতে সময়ের দুইটি মান পাওয়া যায়। উহাদের একটিকে উপেক্ষা করা হয় কেন?

[উঃ সময় 3·41 s ; $g = 9{\cdot}8$ m/s ধরিলে উচ্চতা 56·8 m। সময়ের দ্বিতীয় মানটি এক সেকেণ্ডের কম।]

37. m_1 ভরের একটি কণা v_1 বেগে চলিতে চলিতে একই রেখায় v_2 বেগে চলন্ত m_2 ভরের আর একটি কণার সঙ্গে আটকাইয়া উভয়ে $m_1 + m_2$ ভরের একটি কণায় পরিণত হইল। এই কণার বেগ কত? এ ক্ষেত্রে মোট গতিশক্তি সংঘর্ষের আগে ও পরে সমান থাকিবে কি না আলোচনা কর।

২ বৃত্তপথে গতি
(Rotational Motion)

2-1. কয়েকটি সংজ্ঞা। মনে কর, কোন কণা r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরিয়া চলিতেছে। বৃত্তের কেন্দ্র হইতে যে কোন রেখা (2·1 চিত্রের OAx) টানিলে এই রেখা সাপেক্ষে কণার অবস্থান মাত্র একটি কোণের সাহায্যেই বলা যায়। কণাটি যেমন ঘুরিয়া চলে তেমনই উহার **দূরক (Radius vector)** OP ও OA-রেখার মধ্যবর্তী কোণ θ বাড়িয়া চলে। θ-র মান জানিলেই কণার অবস্থান জানা হইয়া যায়। θ 'রেডিয়ান' এককে নিলে A বিন্দু হইতে বৃত্তপথে কণার রৈখিক দূরত্ব

চিত্র 2·1

$$s=r\theta \tag{2-1.1}$$

θ-কে কণার **কৌণিক সরণ (Angular displacement)** বলে।

কণার দ্রুতি v সুষম হইলে প্রতি সেকেণ্ডে কণার দূরক $v/r=\omega$ কোণ সরে (ω গ্রীক অক্ষর ; উচ্চারণ 'ওমেগা')। ω-কে কণার **কৌণিক বেগ (Angular velocity)** বলে। রেডিয়ান/সেকেণ্ড (rad/s) এককে ω-র মান প্রকাশ করা হয়।

$$\text{কৌণিক বেগ } \omega=v/r \tag{2-1.2}$$

অতএব **রৈখিক বেগ v এবং কৌণিক বেগ ω-তে সম্পর্ক**

$$v=\omega r \tag{2-1.2a}$$

কণাটি বৃত্তপথে সম্পূর্ণ এক পাক ঘুরিলে উহার দূরক 2π রেডিয়ান ঘুরিবে। কৌণিক বেগ ω rad/s হইলে 2π রেডিয়ান ঘুরিতে কণার $2\pi/\omega=T$ সময় লাগিবে। এই সময়কে **পর্যায়কাল (Periodic time)** বলে।

$$\text{পর্যায়কাল } T=2\pi/\omega \tag{2-1.3}$$

T সেকেণ্ডে এক পাক ঘুরিলে কণাটি প্রতি সেকেণ্ডে $1/T=n$ পাক ঘুরিবে। n-কে **আবর্তনসংখ্যা (Frequency)** বলে।

$$\text{আবর্তনসংখ্যা } n=1/T=\omega/2\pi \tag{2-1.4}$$

n-কে 'প্রতি সেকেণ্ড' (per sec বা /s বা s^{-1})-এককে প্রকাশ করা হয়, কারণ উহা এক সেকেণ্ডে ঘটা আবর্তনের সংখ্যা। (আবর্তনসংখ্যা rps—revolutions per second—লিখিয়াও প্রকাশ করা হয়, যেমন 50 rps। cps—cycles per second—দিয়াও আবর্তনসংখ্যা প্রকাশ করা হয়।) শেষ সমীকরণ দুটি হইতে দেখা যায়

$$\omega=2\pi/T=2\pi n \text{ এবং } \omega T=2\pi \tag{2-1.5}$$

কৌণিক বেগ সুষম না হইলে সময়ের সহিত কৌণিক বেগের পরিবর্তনের হারকে **কৌণিক ত্বরণ (Angular acceleration)** বলে। t_1 মুহূর্তে কৌণিক বেগ ω_1 এবং t_2 মুহূর্তে কৌণিক বেগ ω_2 হইলে কৌণিক ত্বরণ

$$a = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \tag{2-1.6}$$

কৌণিক ত্বরণ বিচারে সাধারণত $t_2 - t_1$ অবকাশকে খুব ছোট ধরা হয়। (রৈখিক ত্বরণ তুলনা কর।)

প্রশ্ন। (1) 5 সেকেণ্ডে কোন কণা 200 বার আবর্তিত হয়। উহার (ক) আবর্তনসংখ্যা, (খ) কৌণিক বেগ, (গ) পর্যায়কাল এবং (ঘ) 90° ঘুরিতে যে সময়ের প্রয়োজন হয়, তাহা বাহির কর। [উঃ (ক) 40/s ; (খ) 80π rad/s ; (গ) 1/40 s ; (ঘ) 1/160 s ।]

(2) 1 m লম্বা একগাছা সুতার মাথায় বাঁধা একটি ঢিল 1·5 সেকেণ্ডে 6 পাক ঘুরান হইল। দ্রুতি সুষম হইলে (ক) কৌণিক বেগ এবং (খ) দ্রুতি কত ? [উঃ (ক) 8π rad/s ; (খ) 8π m/s ।]

(3) নিজ অক্ষে পৃথিবীর দৈনিক আবর্তনের কৌণিক বেগ কত ? [24 hr = 86,400 s-এ 2π রেডিয়ান হইতে হিসাব কর।]

(4) ভূপৃষ্ঠে কোন স্থানের অক্ষাংশ λ (গ্রীক অক্ষর ; উচ্চারণ 'ল্যামডা') এবং ব্যাসার্ধ R ধরিলে পৃথিবীর ঘূর্ণন অক্ষ হইতে ঐ স্থানের দূরত্ব $R \cos \lambda$। বিষুবরেখায় $\lambda = 0°$ এবং লেনিনগ্রাডে $\lambda = 60°$। পৃথিবীর দৈনিক আবর্তনের জন্য (ক) বিষুবরেখায়, (খ) লেনিনগ্রাডে অবস্থিত কোন লোক সেকেণ্ডে রৈখিক কত বেগে ঘুরিতেছে বাহির কর। $R = 6400$ km নাও। [উঃ 0·46 km/s ; 0·23 km/s ।]

কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum)। মনে কর, m ভরের কোন কণা v বেগে চলিতেছে। উহার রৈখিক ভরবেগ $= mv$। কোন নির্দিষ্ট বিন্দু O হইতে কণার গতিরেখার লম্ব দূরত্ব r হইলে

$$L = mvr \tag{2-1.7}$$

রাশিটিকে ঐ বিন্দু সাপেক্ষে কণাটির **কৌণিক ভরবেগ** বলে (2.2(a) চিত্র)। r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে গতিতে বৃত্তের কেন্দ্র সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ

চিত্র 2·2

$$L = mvr = mr^2\omega \text{ (কারণ } v = \omega r) \tag{2-1.8}$$

2-2. প্রদত্ত স্থির বিন্দু ও স্থির অক্ষ সাপেক্ষে কোন বলের ভ্রামক (Moment of a force about a point and about an axis)।

মনে কর, O একটি স্থির বিন্দু এবং F কোন বল (2·2(b) চিত্র)। F-এর ক্রিয়ারেখার উপরে O হইতে লম্ব পাত করিলে সে লম্বের দূরত্ব যদি r হয়, তবে $Fr = M$ রাশিটিকে **O বিন্দু সাপেক্ষে F-বলের ভ্রামক (Moment)** বলে। F-এর ক্রিয়ারেখা O-র মধ্য দিয়া গেলে ভ্রামকের মান হইবে শূন্য।

অনুরূপে, কোন স্থির বিন্দু না নিয়া আমরা যদি কোন স্থির অক্ষ AB লই,

এবং F বলের ক্রিয়ারেখা ও সেই স্থির অক্ষ পরস্পরের অভিলম্বে থাকে, ও বলের ক্রিয়ারেখা এবং অক্ষের মধ্যে লম্বদূরত্ব r হয়, তাহা হইলে $Fr = M$ রাশিটিকে ঐ **অক্ষ সাপেক্ষে F বলের ভ্রামক বলে।** (F যদি অক্ষের অভিলম্বে না থাকে তবে AB-র সমান্তরাল যে তলে F আছে, সেই তলে AB-র অভিলম্ব রেখায় F-এর উপাংশ F_x হইলে ভ্রামক হইবে $M = rF_x$। r ঐ উপাংশের দিক্ ও AB অক্ষের লম্বদূরত্ব।)

উভয় ক্ষেত্রেই, বল হইতে বিন্দু বা অক্ষের লম্বদূরত্ব r-রাশিটিকে 'লিভার বাহু' (Lever arm) বা 'ভ্রামক বাহু' (Moment arm) বলে।

Fr গুণফলটিকে বলের ভ্রামক (Moment) বা টর্ক (Torque)-ও বলে।

টর্ক (Torque) বা **ভ্রামক** (Moment) $M = Fr$ (2-2.1)

(অনেকে বলের ভ্রামক-কে ভ্রামক, এবং দ্বন্দ্বের (2-3 বিভাগ) ভ্রামককে টর্ক বলা পছন্দ করেন।)

2-2.1. কৌণিক ভরবেগ ও টর্কে সম্পর্ক (Relation between angular momentum and torque)। ধরা যাক, m ভরের কণা F বলের ক্রিয়ায় v রৈখিক বেগে চলিতেছে। F বা v-র ক্রিয়ারেখা হইতে r লম্বদূরত্বে অবস্থিত O একটি বিন্দু। O সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ $L = mvr$ (2-1.7 সমীকরণ) এবং টর্ক $M = Fr$। কণার উপর ক্রিয়াশীল বল $F = mf$ (f = কণার ত্বরণ) $= mv/t$। অতএব

$$\frac{L}{t} = \frac{mvr}{t} = mfr = Fr = M \quad (2\text{-}2.2)$$

ইহার অর্থ **কৌণিক ভরবেগ পরিবর্তনের হার**

$$L/t = \text{বলের ভ্রামক (বা টর্ক) } M \quad (2\text{-}2.2)$$

ইহার সঙ্গে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রের তুলনা কর—রৈখিক ভরবেগ পরিবর্তনের হার = প্রযুক্ত বল। উপরের সম্পর্ক হইতে রৈখিক ও কৌণিক গতির একটি সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়—কৌণিক ভরবেগের সঙ্গে রৈখিক ভরবেগের যে সম্পর্ক বলের সঙ্গে টর্কের সেই সম্পর্ক।

কৌণিক গতিতে 2-2.2 সমীকরণ একটু অন্যভাবেও লেখা যায়

$$M = \frac{L}{t} = \frac{mvr}{t} = \frac{mr^2\omega}{t} = mr^2(\omega/t) = mr^2\alpha \quad (2\text{-}2.3)$$

$\omega/t = \alpha$ কৌণিক ত্বরণ। দেখা যায় বলের ভ্রামক বা টর্ক কৌণিক ত্বরণ ঘটায়।

2-2.2. বলের ভ্রামকের গুরুত্ব (Importance of moment of a force)। যখন কোন বস্তু কোন বিন্দুতে বা অক্ষে আবদ্ধ থাকে, তখন বস্তুটির উপর বল প্রয়োগ করিলে, আবদ্ধ থাকার জন্য উহা সরলরেখায় চলিতে পারে না। বলের ক্রিয়ারেখা ঐ অক্ষ বা বিন্দু দিয়া না গেলে বস্তুটি অক্ষ বা বিন্দু সাপেক্ষে ঘোরে। সহজেই বোঝা যায় বল অক্ষ বা বিন্দু হইতে যতদূরে প্রযুক্ত হইবে, বস্তুটিও তত সহজে ঘুরিতে পারিবে।

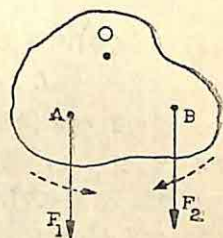
উদাহরণস্বরূপ, দুই কব্জায় আবদ্ধ দরজার কথা ধরা যাক (2·2(*c*) চিত্র)। ঐ দুই কব্জা যে সরলরেখায় (AB-অক্ষে) অবস্থিত, দরজা সেই খাড়া অক্ষে ঘুরিতে পারে। দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা হইতে আমরা দেখিতে পাই দরজার অভিলম্বে দরজার হাতলের কাছে অল্প বল প্রয়োগ করিলেই দরজা ঘোরে। কিন্তু বল অক্ষের আরও কাছে হইলে দরজা একই ভাবে ঘুরাইতে আরও জোরাল বল লাগে। স্প্রিং তুলার সাহায্যে বা অন্য কোন ভাবে বল মাপিতে পারিলে দেখা যায় যে **বিভিন্ন বিন্দুতে অক্ষের অভিলম্বে প্রযুক্ত বিভিন্ন বলের ক্রিয়ায় দরজাকে একই ভাবে ঘুরাইতে চাহিলে**

চিত্র 2·2(*c*)

বল (F) × অক্ষ হইতে দূরত্বের মান (r) = স্থিররাশি (M) হইতে হইবে। অতএব ঘূর্ণনের ব্যাপারে বলের টর্ক বা ভ্রামক বলের গুরুত্ব বুঝায়।

উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় বলের ক্রিয়ায় সৃষ্ট ঘূর্ণন দুইটি জিনিসের উপর নির্ভর করে—(১) প্রযুক্ত বলের মান ও (২) নির্দিষ্ট অক্ষ (বা বিন্দু) হইতে বলের ক্রিয়ারেখার দূরত্ব। দূরত্ব অর্ধেক হইলে একই ফল পাইতে বল দ্বিগুণ করিতে হইবে।

বলের ক্রিয়ারেখা অক্ষ দিয়া গেলে বস্তুটি ঘুরিবে না; এক্ষেত্রে $r=0$ এবং ভ্রামক বা টর্কের মানও শূন্য। ইহা সহজেই পরীক্ষা করিয়া দেখা যায়। দরজায় অক্ষের দিকে বল প্রয়োগ করিয়া দেখ; জোরাল বলেও দরজা ঘুরিবে না।

বলের ভ্রামক (বা টর্ক)-কেও ভেকটর রাশি বলিয়া মনে করা যায়। বামাবর্তে (anticlockwise) ঘূর্ণনকে পজিটিভ ধরিলে দক্ষিণাবর্তী (clockwise) ঘূর্ণনকে নিগেটিভ ধরিতে হইবে। 2·3 চিত্রে বস্তুটি O বিন্দুগামী অক্ষে ঘুরিলে A বিন্দুতে প্রযুক্ত F_1 বলে বামাবর্তী ঘূর্ণন হয়, এবং B বিন্দুতে প্রযুক্ত F_2 বলে দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন হয়।

চিত্র 2·3

2-2.3. ভ্রামকের সাম্য (Equilibrium of moments)। কোন বস্তুর উপর একাধিক বল ক্রিয়া করিলে, যে কোন বিন্দু বা অক্ষ সাপেক্ষে বলগুলির মোট বামাবর্তী ভ্রামক যদি মোট দক্ষিণাবর্তী ভ্রামকের সমান হয়, তাহা হইলে ঐ বলগুলির ক্রিয়ায় বস্তুটি ঘুরিবে না। বল F দিয়া ও উহার লিভার বাহু r দিয়া নির্দেশ করিলে এক্ষেত্রে

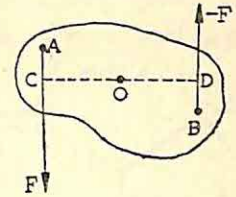
$$\Sigma Fr = 0 \qquad (2\text{-}2.4)$$

হইবে। Σ (উচ্চারণ 'সিগমা', Sigma)-চিহ্ন যোগফল বুঝায়। মনে রাখিও বামাবর্তী ভ্রামককে পজিটিভ ধরিলে দক্ষিণাবর্তী ভ্রামককে নিগেটিভ ধরিতে হইবে। যোগ

বীজগণিতের যোগের মত। 2·3 চিত্রে F_1 বলের লিভার বাহু r_1 ও F_2 বলের লিভার বাহু r_2 হইলে F_1r_1 পজিটিভ ও F_2r_2 নিগেটিভ। অতএব সাম্যের জন্য

$$\Sigma Fr = F_1r_1 - F_2r_2 = 0$$

হইবে। লক্ষ্য করিয়া দেখ বলগুলি সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ার দরকার নাই।

2-3. দ্বন্দ্ব (Couples)। সমান্তরাল রেখায় ক্রিয়া করে এমন দুটি সমান ও বিপরীতমুখী বলকে **দ্বন্দ্ব (Couple)** বলে। দ্বন্দ্বের ক্রিয়ায় বস্তু ঘোরে। ঘড়িতে চাবি দিতে, জলের কল খুলিতে বা বন্ধ করিতে, দরজার গোল হাতল ঘুরাইতে, আমরা দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করি। লক্ষ্য করিলে এরূপ উদাহরণ আরও পাইবে। কর্ক স্ক্রু দিয়া ছিপি খুলিতে কি কর? 2·4 চিত্রে একটি বস্তুতে দ্বন্দ্ব প্রয়োগ দেখান হইয়াছে। A বিন্দুতে ক্রিয়াশীল নিচমুখী F বল ও B বিন্দুতে ক্রিয়াশীল উপরমুখী $-F$ বল দুটিতে একটি দ্বন্দ্ব সৃষ্টি করিয়াছে। বল দুটি বিপরীতমুখী বলিয়া একটিকে পজিটিভ ধরিলে অন্যটিকে নিগেটিভ ধরা উচিত।

চিত্র 2·4

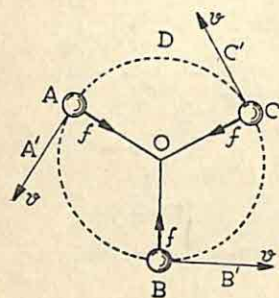
দুই বলের ক্রিয়ারেখার দূরত্বকে দ্বন্দ্বের **বাহু (Arm)** বলে। একটি বল ও দ্বন্দ্বের বাহুর গুণফলকে **দ্বন্দ্বের ভ্রামক (Moment of the couple)** বা **টর্ক (Torque)** বলে। দ্বন্দ্ব যে সমতলে আছে তাহার যে কোন বিন্দু O-র মধ্য দিয়া ঐ সমতলের অভিলম্ব একটি অক্ষ কল্পনা কর। O হইতে দুই বলের ক্রিয়ারেখার উপর OC ও OD লম্ব টান। O বিন্দুগামী অক্ষ সাপেক্ষে A-তে ক্রিয়াশীল বলের ভ্রামক $F \times \mathrm{OC}$; চিত্রে এই ভ্রামক বামাবর্তী। অন্য বলটির অনুরূপ ভ্রামক $F \times \mathrm{OD}$; ইহাও বামাবর্তী। অতএব দুই বলের মোট ভ্রামক $F(\mathrm{OC}+\mathrm{OD}) = F \times \mathrm{CD}$। CD দুই বলের ক্রিয়া-রেখার লম্বদূরত্ব, এবং $F \times \mathrm{CD}$ = দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্ক T। $\mathrm{CD} = a$ দ্বন্দ্বের বাহু।

দ্বন্দ্বের বল যে সমতলে তাহার অভিলম্ব যে কোন অক্ষকে **দ্বন্দ্বের অক্ষ (Axis of the couple)** বলা চলে। অবাধে ঘুরিতে পারে এমন কোন বস্তুর উপর দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিলে বস্তুটি উহার ভরকেন্দ্র (3-4 বিভাগ)-গামী অক্ষের চারদিকে ঘোরে। ঘোরা কেবলমাত্র একটি অক্ষের চারদিকে সম্ভব হইলে, উহাই সেক্ষেত্রে দ্বন্দ্বের অক্ষ; ঘড়ি, জলের কল ইত্যাদি ইহার উদাহরণ।

একটি বলের ক্ষেত্রে যেমন ধরা যায়, দ্বন্দ্বের ক্ষেত্রেও তেমনি বামাবর্তী দ্বন্দ্বকে পজিটিভ ও দক্ষিণাবর্তী দ্বন্দ্বকে নিগেটিভ ধরা চলে। দ্বন্দ্বের ভ্রামককেও ভেকটর রাশি বলিয়া ধরা হয়।

2-3.1. দ্বন্দ্বের সাম্য (Equilibrium of couples)। কোন বস্তুর উপর একসঙ্গে একাধিক দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করিলে উহাদের মোট বামাবর্তী টর্ক যদি মোট দক্ষিণাবর্তী টর্কের সমান হয়, তাহা হইলে দ্বন্দ্বগুলির ক্রিয়ায় বস্তুটি ঘুরিবে না। এক্ষেত্রে দ্বন্দ্বগুলি সাম্যে আছে বলা হয়। একাধিক ভ্রামক বলের ক্রিয়ায় সাম্যের শর্ত ও একাধিক দ্বন্দ্বের ক্রিয়ায় সাম্যের শর্ত একই (2-2.4 সমীকরণ দেখ)।

2-4. অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force)। বাহির হইতে কোন বল ক্রিয়া না করিলে, নিউটনের প্রথম সূত্র অনুসারে কোন সচল বস্তু সরলরেখায় সমবেগে চলিতে চাহিবে। উহার গতিপথ বদলাইতে হইলে উহার উপর বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিতে হইবে।

কোন কণাকে ABCD (2·5 চিত্র) বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে হইলে উহার উপর সর্বদাই একটি বল (f) প্রয়োগ করিতে হইবে। বৃত্তের যে কোন স্থানেই কণাটি থাকুক না কেন, নিউটনের প্রথম সূত্র অনুসারে কণার প্রয়াস ঐ স্থানে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর v দ্রুতিতে ছুটিয়া চলা। A বিন্দুতে উহার গতির প্রয়াস AA′ অভিমুখে, B বিন্দুতে BB′ অভিমুখে, ইত্যাদি। স্পর্শক বরাবর উহাকে চলিতে না দিয়া উহাকে বৃত্তের উপর রাখিতে হইলে অবশ্যই উহার উপর বল প্রয়োগ করিতে হইবে। দ্রুতি সমান রাখিতে হইলে এই বল স্পর্শকের অভিলম্বে, অর্থাৎ বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে, প্রয়োগ করিতে হইবে। কারণ তাহা না হইলে স্পর্শক বরাবর প্রযুক্ত বলের উপাংশ থাকিবে এবং তাহার জন্য কণার দ্রুতির পরিবর্তন হইবে। অতএব কণাকে বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে হইলে সকল সময়ই উহার উপর বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী একটি স্থিরমান বল প্রয়োগ করিতে হইবে।

চিত্র 2·5

আলোচনায় দেখা গেল, জাড্য ধর্মের জন্য বস্তুর প্রয়াস সরলরেখায় সমবেগে চলা। উহাকে কোন সময় বৃত্তাংশে চালিত করিতে হইলে ঐ বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে নির্দিষ্টমান বল উহার উপর অবশ্যই প্রয়োগ করিতে হয়। এই বলকে **অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force)** বলে। বস্তুটির উপর অভিকেন্দ্র বল যে প্রয়োগ করে, নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে, বস্তুটি তাহার উপর প্রতিক্রিয়াস্বরূপ সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ করিবে। এই প্রতিক্রিয়াকে **অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়া (Centrifugal reaction)** বলা হয়। মনে রাখিতে হইবে যে অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়া বৃত্তের কেন্দ্র হইতে বাহিরের দিকে ক্রিয়া করে। দুই বলের মান সমান, ক্রিয়ামুখ বিপরীত এবং উহারা বিভিন্ন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে। যে অপকেন্দ্র বল প্রয়োগ করে অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়া তাহার উপর প্রযুক্ত হয়।

ধরা যাক, কেহ সুতায় ঢিল বাঁধিয়া সুতার অন্য মাথা হাতে ধরিয়া ঢিলটি বৃত্তপথে ঘুরাইতেছে। সুতার টান ঢিলের উপর যে বল প্রয়োগ করে তাহাই অভিকেন্দ্র বল। হাতের আঙুলে সুতার যে টান পড়ে তাহাই অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়া। সুতাগাছা ছাড়িয়া দিলে বা হঠাৎ ছিঁড়িয়া গেলে, ঢিলের উপর সুতার টান থাকিবে না। তখন ঢিলের উপর কোন অভিকেন্দ্র বল না থাকায় উহা বৃত্তপথে না চলিয়া বৃত্তের স্পর্শক বরাবর ছুটিয়া যাইবে।

2-4.1. অভিকেন্দ্র বলের মান। অভিকেন্দ্র বলের মান স্থির থাকিবে এবং উহা কণার উপর সব সময়ই কেন্দ্রের অভিমুখে ক্রিয়া করিবে। জানা আছে, বলের মান = কণার ভর × ত্বরণ। ত্বরণ বেগ-পরিবর্তনের হার। বেগের দুই অংশ— (১) উহার দ্রুতি ও (২) উহার দিক্। সুষম বেগে বৃত্তপথে গতির ক্ষেত্রে দ্রুতি স্থির। অতএব ত্বরণে এক্ষেত্রে কেবল দিক্ পরিবর্তন হয়।

গতি সুষম বলিয়া দিক্‌পরিবর্তনের হারও সুষম। কণার এক একটি আবর্তন T সময়ে সম্পন্ন হইলে, T সময়ে গতিকোণ 2π রেডিয়ান বদলায়। অতএব দিক্‌পরিবর্তনের হার এক্ষেত্রে $2\pi/T=\omega$ (= কৌণিক বেগ)। সুতরাং

অভিকেন্দ্র-বল F = কণার ভর m × কণার ত্বরণ = m × বেগপরিবর্তনের হার
= m × স্থির দ্রুতি v × কোণপরিবর্তনের হার ω।

বৃত্তের ব্যাসার্ধ r হইলে, 2-1.2 সমীকরণ অনুসারে $\omega=v/r$। অতএব

$$\text{অভিকেন্দ্র বল } F=mv\omega=mv^2/r=m\omega^2r \tag{2-4.1}$$

$\omega=2\pi/T=2\pi n$ হওয়ায়, লেখা যায়

$$F=4\pi^2mr/T^2=4\pi^2mn^2r \tag{2-4.2}$$

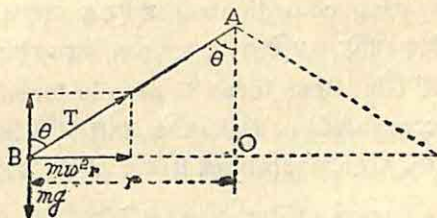
বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে আমরা $F=mv^2/r$ সমীকরণটিই ব্যবহার করি।

$$\text{অভিকেন্দ্র ত্বরণ } a=v^2/r=\omega^2r \tag{2-4.3}$$

উদাহরণ। (1) 20 cm লম্বা একগাছা সুতায় 200 g ভরের একটি বস্তু বাঁধিয়া অনুভূমিক মসৃণ কোন টেবিলে পোঁতা একটি পিনের চারদিকে বস্তুটি মিনিটে 90 পাকে ঘুরান হইতেছে। সুতায় টান কত?

[সমাধান—সুতায় টান = অভিকেন্দ্র বল $F=m\omega^2r$। এ ক্ষেত্রে $m=200$ g, $r=20$ cm, $\omega=2\pi n$ এবং $n=(90/60)$ s। উঃ $F=3{\cdot}55\times10^5$ dyn।]

(2) উপরের প্রশ্নে অনুভূমিক কোন টেবিল না থাকিলে সুতায় টান কত হইবে?

[সমাধান—বস্তুটির ভার খাড়াভাবে নিচের দিকে ক্রিয়া করে। মসৃণ টেবিল এই ভার বহন করিত। টেবিল না থাকিলে সুতার টানের এক উপাংশ এই ভার বহন করিবে (2·6 চিত্র) এবং সুতাগাছা অনুভূমিক থাকিতে পারিবে না। উল্লম্বের (vertical-এর) সহিত সুতার কোণ θ এবং সুতার টান T হইলে $T\cos\theta=mg$ এবং $T\sin\theta=F=m\omega^2r$ হইবে। সুতার দৈর্ঘ্য l হইলে $r=l\sin\theta$। দেখা যায় $T=m\omega^2l$ এবং $\cos\theta=g/\omega^2l$।]

চিত্র 2·6

2-5. অপকেন্দ্র বল (Centrifugal force)। অপকেন্দ্র বল কথাটির অশুদ্ধ প্রয়োগ খুবই প্রচলিত ; অনেকে, বিশেষ করিয়া ইঞ্জিনিয়ারিং-এ, অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়াকেই অপকেন্দ্র বল বলেন। ইহার শুদ্ধ অর্থ বুঝিতে আমরা একটি কৌশলের আশ্রয় লইব।

মনে কর কোন অনুভূমিক তল খাড়া অক্ষে সমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে এবং আবর্তনের কেন্দ্রে একজন দর্শক বসিয়া আছেন। তিনি যেন তলের গতি সম্বন্ধে অবহিত নন

(অর্থাৎ তিনি নিজেকে স্থির মনে করিতেছেন)। তাঁহার হাতে একগাছা সুতার একপ্রান্ত ধরা আছে ; অন্য প্রান্তে একটি ঢিল বাঁধা এবং ঢিলটি ঐ তলের সঙ্গে সমান কৌণিক বেগে একই অক্ষে ঘুরিতেছে। সুতার টান হইতে ঢিলটি ঘুরিবার অভিকেন্দ্র বল পাইতেছে। দর্শক টের পাইতেছেন যে সুতার সাহায্যে ঢিলটি তিনি নিজের দিকে টানিতেছেন, অথচ ঢিলটি তাহার কাছে আসিতেছে না। ইহার কারণস্বরূপ তিনি মনে করেন যে **ঢিলটির উপর** সুতার টানের সমান ও বিপরীত বল ক্রিয়া করিয়া ঢিলটিকে সাম্যে রাখিতেছে। শুদ্ধ অর্থে এই বলই অপকেন্দ্র বল।

যে দর্শক নিজে পরিপার্শ্ব (surroundings) সাপেক্ষে স্থির থাকিয়া কোন বস্তুকে ঘুরিতে দেখিবেন তাহার কাছে অপকেন্দ্র বলের কোন অস্তিত্ব নাই। যিনি ঘুরন্ত বস্তুটির সঙ্গে সঙ্গে নিজেও একই কৌণিক বেগে ঘুরিতেছেন, তাঁহার কাছে অপকেন্দ্র বলের অস্তিত্ব অন্য যে কোন বলের ন্যায় বাস্তবিক। অভিকেন্দ্র বলের ক্রিয়া বন্ধ হইয়া গেলে স্থির দর্শক দেখিবেন বস্তুটি গতিপথের স্পর্শক বরাবর ছুটিয়া চলিয়াছে। ঘুরন্ত দর্শক দেখিবেন উহা অপকেন্দ্র বলের ক্রিয়ায় অরীয় (radial) পথে ছুটিয়া গেল।

সংজ্ঞা। উপরের আলোচনার ভিত্তিতে মূল অর্থে অপকেন্দ্র বলের এইরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে—

যে দর্শক ঘুরন্ত বস্তুটির সঙ্গে একই কৌণিক বেগে ঘুরিতেছেন তাহার নিকট মনে হইবে **বস্তুটির উপর** অভিকেন্দ্র বলের সমান ও বিপরীত একটি বল ক্রিয়া করিতেছে ; ইহাই **অপকেন্দ্র বল (Centrifugal force)।**

স্থির দর্শকের কাছে অভিকেন্দ্র বল যেরূপ বাস্তব, ঘুরন্ত দর্শকের কাছে অপকেন্দ্র বলও সেইরূপ বাস্তব (real)। কিন্তু দুই-এ একটু প্রভেদ আছে। অভিকেন্দ্র বল দুইটি বস্তুর মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া জনিত। কিন্তু অপকেন্দ্র বল এরূপ নয়, অর্থাৎ **দুই বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় উহার জন্ম নয়। উহার জন্ম ঘুরন্ত নির্দেশতন্ত্র** (rotating co-ordinates) **হইতে বস্তুর গতি দেখার জন্য।** স্থির নির্দেশতন্ত্র হইতে গতি দেখিলে এ বলের অস্তিত্ব নাই। অপকেন্দ্র বলকে এই কারণে **'অলীক বল' (fictitious force** বা **pseudo-force)** বলা হয়। ঘুরন্ত দর্শকের গতি ত্বরিত (accelerated)। ত্বরিত-গতি দর্শক নিউটনের গতীয় সূত্রগুলি মানিতে গিয়া অলীক বলের সাহায্যে তাহার দৃষ্ট ঘটনার ব্যাখ্যা করেন। এরূপ আরও উদাহরণ আছে।

ভূপৃষ্ঠে থাকিয়া আমরা পৃথিবীর দৈনিক আবর্তন-জনিত গতির অংশভাক্, অর্থাৎ পৃথিবীর কৌণিক বেগ আমাদেরও কৌণিক বেগ। গ্রহ, নক্ষত্র না দেখিলে এ কৌণিক বেগ আমরা উপলব্ধি করিতে পারি না। যদি পৃথিবীর সঙ্গে একই কৌণিক বেগে কোন উপগ্রহ আবর্তিত হইত তাহাকে আমরা আকাশে সব সময় একই জায়গায় দেখিতাম। আমরা ভাবিতাম পৃথিবীর মাধ্যাকর্ষণ উপগ্রহটিকে নিজের দিকে টানিলেও উহা কাছে আসিতেছে না কেন? ইহার ব্যাখ্যা হইত যে উপগ্রহটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণের সমান ও বিপরীত বল ক্রিয়া করিতেছে। ইহাই হইত অপকেন্দ্র বল।

মোটরগাড়ি বা বাস (Bus) বাঁক লইবার সময় আংশিক বৃত্তপথে চলে। ঐ সময় আরোহী বৃত্তের কেন্দ্রের বিপরীতদিকে ক্রিয়াশীল একটি বল অনুভব করেন। ইহাই অপকেন্দ্র বল। আরোহীর কাছে ইহা বাস্তব। কিন্তু যিনি রাস্তায় দাঁড়াইয়া আছেন তিনি দেখিবেন জাড্য-ধর্মের জন্য আরোহী সরলরেখায় চলিয়া যাইতে চান এবং গাড়ি বৃত্তপথে চলার জন্য আরোহীকে টানিয়া বৃত্তপথে আনে। কখন কখন আরোহী বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ঝুঁকিয়া অপকেন্দ্র বলের সমান ও বিপরীত বল সক্রিয় করেন, এবং ইহা দ্বারা অপকেন্দ্র বলের প্রভাব হইতে মুক্ত হন। রাস্তার দর্শক দেখেন আরোহী ঝুঁকিয়া পড়িয়া বৃত্তপথে চলার প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাইলেন।

অপকেন্দ্র বল কথাটির মূল এবং বিকৃত অর্থ দুই রকম হওয়ায় প্রথম শিক্ষার্থীর পক্ষে ইহার প্রয়োগ অসুবিধাজনক। ঘুরন্ত বস্তু সংক্রান্ত সকল আলোচনাই অভিকেন্দ্র বলের সাহায্যে হইতে পারে। প্রথম শিক্ষার্থীর পক্ষে ইহা করাই বাঞ্ছনীয়।

2-6. অভিকেন্দ্র বলের ক্রিয়ার কয়েকটি উদাহরণ। (1) ভিজা রাস্তায় মোটর গাড়ি চলিবার সময় চাকার স্পর্শক বরাবর জল বা কাদা ছিটিতে দেখা যায়। চাকার টায়ারের সঙ্গে জল বা কাদার আসঞ্জন* (Adhesion) জনিত বল চাকার গায়ে উহাদের ধরিয়া রাখে। চাকা জোরে ঘুরিতে থাকিলে আসঞ্জন উহাদের প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে পারে না। তখন উহারা চাকার স্পর্শক বরাবর ছুটিয়া যায়।

শান দিবার চাকায় ছুরি বা কাঁচি ধরিলে যে ফুলকি ছুটিতে দেখা যায় তাহারও কারণ একই। ফুলকিগুলি লোহার সূক্ষ্ম কণা ; ঘষায় গরম হইয়া আলো দেয়। চাকার বেগ বেশী হইলে আসঞ্জন উহাকে ধরিয়া রাখিতে পারে না।

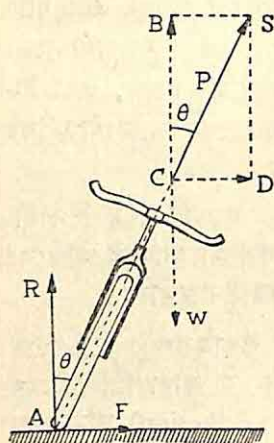
(2) যে বল একই পদার্থের দুই অংশকে ধরিয়া রাখে তাহাকে সংসক্তি (cohesion) জনিত বল বলে। চাকা যখন ঘুরিতে থাকে, সংসক্তি উহার অভিকেন্দ্র বল জোগায়। চাকা বেশী জোরে ঘুরাইলে সংসক্তি প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে অক্ষম হইতে পারে। তখন চাকা ভাঙ্গিয়া যায়।

ভূত্বক্ প্রধানত পাথরে তৈয়ারী। পৃথিবীর দৈনিক আবর্তনে ভূত্বকের উপরের ও নিচের অংশের মধ্যে সংসক্তি জনিত বল দরকারী অভিকেন্দ্র বল জোগায়। পৃথিবীর কৌণিক বেগ ω বাড়িলে অভিকেন্দ্র বল ω^2 অনুপাতে বাড়াইতে হয়। ω ক্রমশ বাড়াইতে পারিলে একটা সীমা আসিবে যখন সংসক্তি সে বল জোগাইতে পারিবে না। তখন সেই অংশ বিচ্ছিন্ন হইয়া অনুভূমিকভাবে ছুটিয়া যাইবে। হিসাবে দেখা যায় পৃথিবীর কৌণিক বেগ 17 গুণ বাড়িলে, অর্থাৎ দিনে পৃথিবী 17 বার ঘুরিলে, এরূপ হইতে পারে।

(3) গ্রহগুলি সূর্যের চারদিকে ঘোরে। সূর্য ও গ্রহের মধ্যে মহাকর্ষ (gravita-

* যে জাতীয় বলের ক্রিয়ায় এক পদার্থ অন্য পদার্থের গায়ে লাগিয়া থাকে তাহাকে আসঞ্জনের বল বলে। কাগজে আঠায় বল আসঞ্জনের।

tion) জনিত বল প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগায়। গ্রহ ও উপগ্রহের মধ্যেও মহাকর্ষ অভিকেন্দ্র বল জোগায়।

(4) সাইকেল চড়িয়া বাঁক লইবার সময় আরোহী আংশিক বৃত্তপথে চলেন। ইহার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে আরোহী বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ঝুঁকিয়া পড়েন। সাইকেল উল্লম্বের সঙ্গে θ কোণে হেলিলে (2·7 চিত্র) সাইকেলের উপরে মাটির প্রতিক্রিয়া P-র খাড়া অংশ $P \cos\theta\ (=CB)$ আরোহীসমেত সাইকেলের ওজন W-কে প্রতিমিত করে ; $P\cos\theta = W$। P-র অনুভূমিক উপাংশ $P \sin\theta$ $(=CD)$ অভিকেন্দ্র বল mv^2/r জোগায়। অতএব v বেগে r ব্যাসার্ধের বাঁক নিতে হইলে $P\sin\theta = mv^2/r$ হইতে হইবে। $P\cos\theta = W = mg$ এবং $P\sin\theta = mv^2/r$ সম্পর্ক দুটি হইতে পাই

চিত্র 2·7

$$\tan\theta = v^2/gr \qquad (2\text{-}6.1)$$

সাইকেল কাত হইলে ঘর্ষণ উহাকে পিছলাইয়া যাওয়া হইতে রক্ষা করে। μ = স্থিতীয় ঘর্ষণ গুণাংক হইলে, $P\sin\theta$-র চরম মান হইবে $P\sin\theta = \mu W$। ইহা অপেক্ষা বেশী কোণে হেলিলে ঘর্ষণ সাইকেলকে ঠেকাইয়া রাখিতে পারিবে না। সাইকেল পিছলাইয়া যাইবে। অতএব $\mu W > mv^2/r$ বা $\mu > v^2/gr$ অর্থাৎ $v^2 < \mu gr$ হওয়া দরকার।

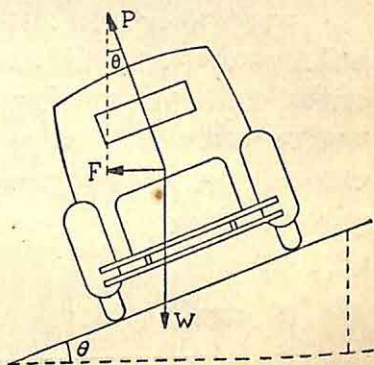
প্রশ্ন। (1) 3 m/s বেগে চলিয়া সাইকেলের আরোহী যদি 6 m ব্যাসার্ধের বাঁক লইতে চান, তাহা হইলে সাইকেল কতখানি কাত করিতে হইবে? এক্ষেত্রে রাস্তা ও সাইকেলে ঘর্ষণ গুণাংক কত কম হওয়া চলিবে? [উঃ প্রায় 8°42′ ; 0·153]

(2) ঘণ্টায় 12 km বেগে চলিতে চলিতে সাইকেলের আরোহী ঠিক বিপরীত দিকে ঘুরিতে চান। রাস্তা ও টায়ারে ঘর্ষণ গুণাংক 0·4 হইলে কত কম ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে তিনি ঘুরিতে পারিবেন?

[উঃ 2·83 m

(5) মোটরগাড়ি সমতল রাস্তায় বাঁক নিতে চাহিলে চাকা ও রাস্তার ঘর্ষণ উহাকে অভিকেন্দ্র বল জোগায়। এই বলের চরম মান μW। $mv^2/r > \mu W$ হইলে গাড়ি পিছলাইয়া বা উল্টাইয়া যায়। সাইকেলের মত এক্ষেত্রেও μgr-এর চেয়ে v^2 ছোট থাকা দরকার, অর্থাৎ কম বেগে বড় ব্যাসের বৃত্তে গাড়ি চালান উচিত।

চিত্র 2·8

পাহাড়ে রাস্তায় কোথাও কোথাও অল্প জায়গার মধ্যে গাড়ি ঘোরান দরকার হয়। বেগ বেশী থাকিলেও গাড়ি যাহাতে এরূপ অল্প ব্যাসের বাঁক নিতে পারে সেজন্য বাঁকের কেন্দ্রের দিকে রাস্তা ঢালু করিয়া বানান হয় (2·8 চিত্র)। ভূমির প্রতিক্রিয়া P গাড়ির ভারকেন্দ্রে ঢালু

রাস্তার অভিলম্বে ক্রিয়া করে। উহার খাড়া উপাংশ $P \cos \theta = W$ হইয়া গাড়ির ওজন প্রতিমিত করে এবং অনুভূমিক উপাংশ $P \sin \theta$ অভিকেন্দ্র বল mv^2/r জোগায়। সাইকেলের মত এক্ষেত্রেও $\tan \theta = mv^2/rW = v^2/rg$। রাস্তা নততলের মত এবং θ অনুভূমের সঙ্গে উহার নতি কোণ।

(6) রেলগাড়ি বাঁক লইতে তাহাকে অভিকেন্দ্র বল কে জোগায়? বাঁকান লাইনের উপর দিয়া চলিবার সময় জাড্যের জন্য গাড়ি সরলরেখায় চলিতে চায়। ইহাতে বাঁকের কেন্দ্রের বিপরীত দিকের চাকার কানা (flange) রেল লাইনের গায় ঘষা খায়। রেল লাইন চাকাকে ভিতরের দিকে ঠেলিয়া অভিকেন্দ্র বল জোগায়। এরূপ ঘষায় চাকা ও লাইনের ক্ষয় হয়। বাহিরের লাইন একটু উঁচু করিয়া পাতিলে ক্ষয় কমে এবং নির্দিষ্ট বেগে গাড়ি চলিলে চাকার কানা লাইনে ঘষা খায় না। এক্ষেত্রেও $\tan \theta = v^2/rg$ হওয়া দরকার। θ হইল অনুভূমের সঙ্গে দুই লাইন যোগকারী রেখার কোণ। ব্যাপার ঘটে ঠিক মোটরের ঢালু রাস্তার মত।

সাইকেল, মোটরগাড়ি ও রেলগাড়ির উদাহরণগুলিতে গাড়ি মোড় ঘুরিবার সময় রাস্তা বা লাইনের উপর বেশী চাপ দেয়। এই চাপের অনুভূমিক উপাংশ অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়া। লক্ষ্য কর এই প্রতিক্রিয়া রাস্তা বা লাইনের উপর প্রযুক্ত হইতেছে।

(7) **সেন্ট্রিফিউজ (Centrifuge)।** ইহা একপ্রকার যন্ত্র। এই যন্ত্রে একটি নল খুব জোরে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হয়। অপকেন্দ্র (centrifugal) বলের কল্পনের সাহায্যে ইহার ক্রিয়া খুব অল্প কথায় ব্যাখ্যা করা যায়। ধরা যাক পাত্রে খানিকটা ঘোলা জল আছে। ঘুরিবার ফলে জলের মধ্যে যে বিজাতীয় কঠিন দানাগুলি আছে তাহারা জলের চেয়ে ভারী হইলে অনুরূপ জলকণার চেয়ে জোরাল অপকেন্দ্র বল অনুভব করে। ফলে ঘুরন্ত অক্ষ হইতে উহারা দূরের দিকে যায়, অর্থাৎ নলের বদ্ধ প্রান্তে সঞ্চিত হয়। জলের চেয়ে হালকা দানা নলে ঘুরন্ত অক্ষের দিকে আসে অর্থাৎ ভাসিয়া ওঠে। নল ঘুরাইবার বেগ বেশী করিলে তরলে ও বিজাতীয় দানায় অপকেন্দ্র বলের প্রভেদ বাড়ে বলিয়া তরল হইতে দানাগুলি তাড়াতাড়ি পৃথক হয়। রক্ত হইতে রক্ত কণিকা, রক্তের সিরাম (serum) হইতে প্রোটিন, হর্মোন, ভাইরাস প্রভৃতি, বা দুধ হইতে মাখন পৃথক করিতে এবং অনুরূপ আরও অনেক কাজে সেন্ট্রিফিউজ ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী

1. কৌণিক বেগ, কৌণিক ত্বরণ, কৌণিক গতির পর্যায়কাল ও আবর্তনসংখ্যা কথাগুলির অর্থ বুঝাও।

কৌণিক গতিতে কৌণিক সরণ, কৌণিক বেগ ও কৌণিক ত্বরণের সঙ্গে কণার রৈখিক সরণ, রৈখিক বেগ ও রৈখিক ত্বরণের সম্পর্কগুলি কি কি?

2. কৌণিক ভরবেগ কাহাকে বলে? ইহার সহিত বলের ভ্রামকের সম্পর্ক কি?

3. টর্ক বলিতে কি বুঝায়? কৌণিক গতিতে টর্কের গুরুত্ব উদাহরণ দিয়া বুঝাও।

4. বলের ভ্রামক বলিতে কি বুঝায়? উহার ক্রিয়া কি? দ্বন্দ্ব কাহাকে বলে? দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্ক কি? দ্বন্দ্বের ক্রিয়ার উদাহরণ দাও। কি অবস্থায় একটি দ্বন্দ্ব অন্য দ্বন্দ্বের ক্রিয়া বিনষ্ট করিতে পারিবে? দ্বন্দ্বের অক্ষ কাহাকে বলে?

5. অভিকেন্দ্র বল কাহাকে বলে? অপকেন্দ্র বল কাহাকে বলে? উহাতে এবং অপকেন্দ্রিক প্রতিক্রিয়ায় প্রভেদ কি? অপকেন্দ্র বলকে অলীক বল বলা হয় কেন? এই তিনটি বলের উদাহরণ দাও।

6. কোন কণাকে সমদ্রুতিতে বৃত্তপথে ঘুরাইতে হইলে বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে একটি স্থিরমান বল উহার উপর সর্বদা প্রযুক্ত রাখিতে হয়—ইহা প্রমাণ কর।

দ্রুতির সঙ্গে এই বলের সম্পর্ক বাহির কর। এই বলের ক্রিয়া বন্ধ হইলে কণা কিভাবে চলিবে?

7. কোন কণা বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে চলিতে থাকিলেও উহার ত্বরণ থাকে কেন? এই ত্বরণের মান বাহির কর।

1 m লম্বা একগাছা দড়ির মাথায় একটি ঢিল বাঁধিয়া দড়ি অনুভূমিক রাখিয়া ঢিলটি বৃত্তপথে 3 m/s বেগে ঘুরান হইতে লাগিল। ঢিলটির ত্বরণ কত? দড়ি উল্লম্বের সঙ্গে 30° কোণে আনত থাকিলে এবং বেগ একই থাকিলে ত্বরণ কত হইবে? ঢিলের ওজন 250 g হইলে অভিকেন্দ্র বলের মান কোন্ ক্ষেত্রে কত?

[উঃ 900 cm/s^2 ; 1800 cm/s^2 ; $2{\cdot}25\times10^5$ dyn ; $4{\cdot}5\times10^5$ dyn]

8. 10^7 dyn বল প্রযুক্ত হইলে একগাছা দড়ি ছিঁড়িয়া যায়। 500 g ওজনের একখণ্ড পাথর ঐ দড়িতে বাঁধিয়া 50 cm ব্যাসার্ধের অনুভূমিক তলে পাথর ঘুরান হইতে লাগিল। প্রতি মিনিটে আবর্তন-সংখ্যা কত হইলে দড়ি ছিঁড়িবে? [উঃ $600/\pi$]

9. সমতল রাস্তায় বাঁক লইবার সময় সাইকেলসমেত আরোহী অভিকেন্দ্র ত্বরণ কি ভাবে পায় বুঝাইয়া বল।

সাইকেলের বেগ 14·4 km/hr এবং রাস্তার সঙ্গে উহার ঘর্ষণ গুণাংক 0·3 হইলে আরোহী কত কম ব্যাসের বৃত্তে ঘুরিতে পারিবে? না পড়িয়া গিয়া আরোহী কতখানি কাত হইতে পারিবে?

($g=9{\cdot}8$ m/s^2) [উঃ 10·9 m ; 16° 42′]

10. সেন্ট্রিফিউজের ক্রিয়া বর্ণনা কর। 6 cm ব্যাসের একটি সেন্ট্রিফিউজ প্রতি সেকেণ্ডে 1000 বার আবর্তিত হয়। অপকেন্দ্র বল ওজনের তুলনায় উহাতে কত বেশী?

[উঃ প্রায় $2{\cdot}4\times10^5$ গুণ]

11. একখানা মোটরগাড়ি 20 m/s বেগে চলিয়া 30 m ব্যাসার্ধের বাঁক লইতেছে। উহার চালকের ওজন 72 kg হইলে তাহার উপর অপকেন্দ্র বল কত? ইহা চালকের ওজনের কত গুণ?

[উঃ $9{\cdot}6\times10^7$ dyn ; প্রায় 1·4 গুণ]

12. পৃথিবীর আবর্তন জনিত কৌণিক বেগ কত হইলে বিষুবরেখায় লোকের ওজন থাকিবে না? তখন কত ঘণ্টায় দিন হইবে? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km।

[সংকেত: ঐ অবস্থায় পৃথিবীর আকর্ষণ অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে সম্পূর্ণভাবে ব্যয়িত হইবে।
উঃ সেকেণ্ডে 0·00124 রেডিয়ান; প্রায় 1·4 ঘণ্টায় দিন।]

13. বাঁকের কাছে রাস্তা একদিকে ঢালু করা হয় কেন? কি প্রয়োজনে রেল লাইনের একটিকে অন্যটির চেয়ে একটু উঁচুতে রাখা হয়?

৩ ‖ স্থিতিবিদ্যা (Statics)

3-1. সাম্যের শর্ত (Conditions of equilibrium)। কণার বা বস্তুর বেগ না থাকিলে উহা **স্থিতিতে (at rest)** আছে বা স্থির আছে বলা হয় এবং উহার ত্বরণ না থাকিলে উহা **সাম্যে (in equilibrium)** আছে বলা হয়। সাম্যে কণাটি স্থির থাকিতেও পারে বা সরলরেখায় সমদ্রুতিতে (অর্থাৎ সুষম বেগে) চলিতেও পারে। বলের ক্রিয়ামুক্ত বা একাধিক বলের ক্রিয়াধীন না হইলে সাম্য হয় না। কোন বস্তুর বা কণাগোষ্ঠীর (system of particles) সাম্যের জন্য দুটি শর্ত পূর্ণ হওয়া দরকার— উহার (১) রৈখিক ত্বরণ বা (২) কৌণিক ত্বরণ—কোনটিই থাকিবে না। ইহার জন্য

প্রথম শর্তঃ বস্তুর (বা কণাগোষ্ঠীর) উপর ক্রিয়াশীল সকল বলের ভেকটর যোগফল শূন্য হইবে। (এই শর্ত পূর্ণ হইলে কোনদিকে ত্বরণ ঘটিবে না ; বস্তুটি (বা কণাগোষ্ঠী) হয় স্থির থাকিবে, নহিলে কোন আদিবেগ থাকিলে সেই সুষম বেগে উহা চলিতে থাকিবে।)

দ্বিতীয় শর্তঃ যে কোন বিন্দু বা অক্ষ সাপেক্ষে বস্তুর (বা কণাগোষ্ঠীর) উপর ক্রিয়াশীল বলগুলির মোট বামাবর্তী ভ্রামক (বা টর্ক) মোট দক্ষিণাবর্তী ভ্রামকের (বা টর্কের) সমান হইবে। [ইহাতে কোন অক্ষেই বস্তুটি (বা কণাগোষ্ঠী) ঘুরিতে পারিবে না।]

যে কোন বস্তু অসংখ্য কণার সমষ্টি। একটি কণার সাম্যের জন্য কেবল প্রথম শর্ত পূর্ণ হইলেই হইবে। কারণ কণার ক্ষেত্রে উহার উপর বলের মান শূন্য হইলে উহার ঘুরিবার প্রশ্ন আসিবে না।

আমাদের আলোচনার অধিকাংশ ক্ষেত্রে বল বা দ্বন্দ্বগুলি একই সমতলে থাকিবে। এরূপ ক্ষেত্রে প্রথম শর্ত প্রয়োগে আমরা বলগুলিকে পরস্পর অভিলম্ব যে কোন X এবং Y-অক্ষে (ধর অনুভূমিক ও উল্লম্ব, অর্থাৎ খাড়া, অক্ষে) বিভক্ত করিয়া নিতে পারি। X-অক্ষে কোন বলের উপাংশকে F_x এবং Y-অক্ষে উহার উপাংশকে F_y বলিলে ভেকটর যোগের বদলে, শর্তটিকে

$$\Sigma F_x = 0 \text{ এবং } \Sigma F_y = 0 \qquad (3\text{-}1.1)$$

রূপেও প্রকাশ করা যায়। Σ চিহ্ন দিয়া নির্দিষ্ট যোগে সব বলগুলিই ধরিতে হইবে, এবং যোগ হইবে বীজগণিতের সূত্র অনুসারে (1-5.1 বিভাগ দেখ)।

দুটি বলের ক্রিয়ায় সাম্য। সহজেই বোঝা যায় এক্ষেত্রে বল দুটি একই রেখায় বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিবে, এবং উহারা মানে সমান হইবে। (দ্বন্দ্বের দুটি বল সমান ও বিপরীত, কিন্তু উহারা এক রেখায় ক্রিয়া করে না।)

তিনটি বলের ক্রিয়ায় সাম্য। সাম্যের শর্ত দুটি এক্ষেত্রে প্রয়োগ করিলে দেখা যায়

(১) বল তিনটিকে একই সমতলে থাকিতে হইবে (Forces must be *coplanar*) ;

(২) তিন বলের ক্রিয়ারেখা একই বিন্দু দিয়া যাইবে (Forces must be *concurrent*) ;

(৩) যে কোন একটি বল অপর দুইটির লব্ধির সমান ও বিপরীত হইবে। এক্ষেত্রে বল তিনটি দিয়া একটি বদ্ধ ত্রিভুজ (closed triangle) গঠন করা যাইবে। বল তিনটির মান F_1, F_2, F_3 এবং উহাদের দ্বারা গঠিত বদ্ধ ত্রিভুজে বলগুলির বিপরীত কোণের মান যথাক্রমে a_1, a_2 ও a_3 হইলে ত্রিকোণমিতির লামির উপপাদ্য (Lami's theorem) অনুসারে পাইব

$$\frac{F_1}{\sin a_1} = \frac{F_2}{\sin a_2} = \frac{F_3}{\sin a_3} \qquad (3\text{-}1.2)$$

প্রশ্ন। 12 kg ওজনের একটি বস্তু একগাছা দড়িতে খাড়াভাবে ঝুলান আছে। 5 kg ওজনের অনুভূমিক বলে উহাকে টানিয়া সাম্যে রাখিলে দড়িগাছায় টান (tension) কত হইবে ?

[সমাধান—সাম্য অবস্থায় দড়ির টান T হইলে, বস্তুটি তিনটি বলের ক্রিয়ায় সাম্যে আছে —(১) দড়ির টান T, (২) বস্তুর ওজন (12 kg) ও (৩) অনুভূমিক বল 5 kg। বস্তুর ওজন খাড়া রেখায় নিচের দিকে ক্রিয়া করে। ধরা যাক, T টান খাড়া উর্ধ্বরেখার সঙ্গে θ কোণে আছে। (এই অবস্থার একটি ছবি আঁকিলে বোধ সহজ হইবে।) T-র মান জানিতে হইবে। এজন্য আমরা 3-1.1 ও 3-1.2 সমীকরণের যে কোনটি প্রয়োগ করিতে পারি। উদাহরণ হিসাবে আমরা উভয়ের প্রয়োগই দেখাইব (3·1 চিত্র)।]

(a) (b)

চিত্র 3·1

3-1.1 সমীকরণ প্রয়োগ করিতে বলগুলি অনুভূমিক X-অক্ষে ও খাড়া উপরের দিকে Y-অক্ষে উপাংশে ভাগ করা যাক। তাহা করিলে

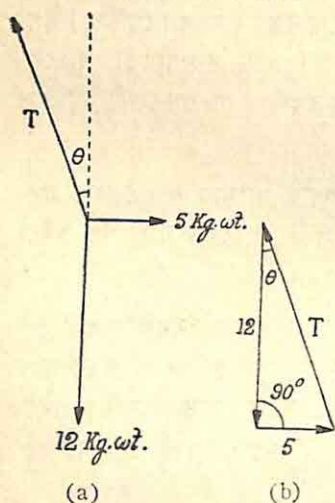
$$\Sigma F_x = -T \sin \theta + 5 \text{ kg-wt} = 0$$

বা $T \sin \theta = 5$ kg-wt।

$$\Sigma F_y = T \cos \theta - 12 \text{ kg-wt} = 0$$

বা $T \cos \theta = 12$ kg-wt।

অতএব, $T^2(\sin^2\theta + \cos^2\theta) = (5^2 + 12^2)(\text{kg-wt})^2$

বা $T = 13$ kg-wt।

3-1.2 সমীকরণ প্রয়োগ করিতে খাড়া নিচের দিকে 12 kg-wt বল ও তাহার সঙ্গে 90°-তে অনুভূমিক 5 kg-wt বল টানিয়া শেষের বলের মাথার সঙ্গে প্রথম বলের গোড়া যোগ করিব (3·1(*b*) চিত্র)। শেষের এই রেখাংশই T টান বুঝাইবে। 3-1.2 সমীকরণ অনুসারে, kg-wt এককে

$$\frac{T}{\sin 90°} = \frac{5}{\sin \theta} = \frac{12}{\sin (90° - \theta)} = \frac{12}{\cos \theta}\,।$$

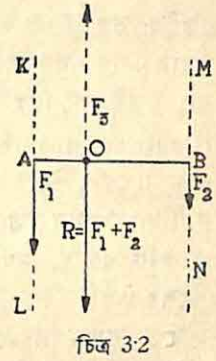
ইহা হইতে পাই $T \sin \theta = 5$, $T \cos \theta = 12$। অতএব, $T = 13$ ও $\tan \theta = \frac{5}{12}$। 3-1.1 হইতেও ইহাই পাইয়াছি।

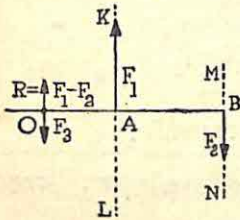
পদার্থবিদ্যার নানা ক্ষেত্রে কোন বস্তুর সাম্য বিচার করিয়া উহার উপর ক্রিয়াশীল বলগুলির সম্পর্ক হইতে নির্ণেয় রাশি বাহির করিতে হয়। এজন্য সাম্যের শর্ত ও উহার প্রয়োগ সম্বন্ধে স্পষ্ট জ্ঞান থাকা দরকার।

3-2. সাম্যের শর্তের একটি প্রয়োগঃ সমান্তরাল বলের লব্ধি নির্ণয়।

একাধিক বল সমান্তরাল রেখায় একই দিকে ক্রিয়া করিলে উহাদের **সমমুখী বল (Like forces)** বলা হয়। এই রকম সমান্তরাল দুইটি বলের ক্রিয়ামুখ বিপরীত হইলে উহাদের **বিষমমুখী বল (Unlike forces)** বলা হইবে। সমমুখী বা বিষমমুখী দুটি বলের লব্ধি পাইতে সামান্তরিক সূত্র প্রয়োগ করা সম্ভব নয়। সাম্যের শর্ত দুইটি প্রয়োগে আমরা ইহাদের লব্ধি পাইতে পারি।

চিত্র 3·2

লব্ধির সমান ও বিপরীতমুখী বলকে 'সাম্যক বল' বা সংক্ষেপে **সাম্যক (Equilibrant)** বলা যাক। প্রদত্ত বল দুটি ও উহাদের সাম্যক বল, এই তিনে মিলিয়া বস্তুটিকে সাম্যে রাখিবে।

3·2 চিত্রে সমমুখী দুটি বল F_1 ও F_2-র লব্ধি বাহির করার উপায় দেখান হইয়াছে। AB উভয়ের সমকোণে কোন রেখা। ধরা যাক, AB-রেখার O বিন্দু দিয়া সাম্যক বল F_3 গেলে বস্তুটি সাম্যে থাকে। সাম্যের প্রথম শর্ত অনুসারে, $F_1 + F_2 + F_3 = 0$ বা লব্ধি $R = -F_3 = F_1 + F_2$।

সাম্যের দ্বিতীয় শর্ত অনুসারে O বিন্দু সাপেক্ষে F_1 এবং F_2-র ভ্রামক সমান ও বিপরীতমুখী হইবে। ইহা হইতে O-র অবস্থান পাওয়া যায়; $F_1.AO = F_2.BO$।

চিত্র 3·3

বিষমমুখী বলের লব্ধি নির্ণয় 3·3 চিত্র হইতে বোঝা যাইবে। আলোচনা সমমুখী বলের মতই। লব্ধি R বেশী জোরাল বলের অভিমুখে এবং উহার মান $F_1 - F_2$। তাছাড়া O বিন্দু AB রেখায় উভয় বলের বাহিরে থাকে; $F_1.OA = F_2.OB$ হয়।

দুই-এর বেশী সমান্তরাল বলের লব্ধিও একই ভাবে বাহির করা হয়। বলকে F দিয়া ও লব্ধি যে বিন্দু দিয়া যায়, সে বিন্দু সাপেক্ষে বলের ভ্রামককে M দিয়া নির্দেশ করিলে সাম্যের দুই শর্ত $\Sigma F = 0$ ও $\Sigma M = 0$ প্রয়োগ করিয়া লব্ধি ও লব্ধির ক্রিয়ারেখা পাওয়া যাইবে।

বিভিন্ন শ্রেণীর লিভার (Lever)-এর কথা তোমরা আগেই পড়িয়াছ। উহার লোড (Load) ও এফর্ট (Effort) সমান্তরাল বল। উহারা সমমুখীও হইতে পারে বা বিষমমুখীও হইতে পারে। লব্ধির ক্রিয়ামুখ আলম্ব (Fulcrum) দিয়া যায়।

3-3. ভারকেন্দ্র (Centre of gravity)। যে কোন বস্তুকে অসংখ্য কণার সমষ্টি বলিয়া মনে করা যায়। সকল কণারই ভর আছে; অতএব ওজনও আছে। পৃথিবীর আকর্ষণ ভূকেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করে বলিয়া ভূ-পৃষ্ঠের কাছের সাধারণ কোন বস্তুর সকল কণার উপর আকর্ষক বল mg-গুলি কার্যত সমান্তরাল। (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ বস্তুটির আকারের তুলনায় বহুগুণ বড় বলিয়াই বলগুলিকে সমান্তরাল মনে করা যায়।) বস্তুটির ভর M ও উহার যে কোন কণার ভর m হইলে $M = \Sigma m$। g-র মান সকল কণার উপর সমান বলিয়া বস্তুর ভার $Mg = \Sigma mg$। mg-বলগুলির লব্ধি অর্থাৎ Mg বল বস্তুটি সাপেক্ষে বিশেষ কোন বিন্দু দিয়া যায়। এই বিন্দুকে বস্তুটির **ভারকেন্দ্র (Centre of gravity)** বলে। বস্তুটিকে সোজা করিয়া, কাত করিয়া বা যেভাবেই রাখা যাক না কেন, উহার ভারের ক্রিয়ারেখা ঐ বিশেষ বিন্দু দিয়াই যাইবে। **সংজ্ঞা** হিসাবে বলা যায় "কোন বস্তুকে একই স্থানে যেভাবেই রাখা যাক না কেন, উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষক বলের, অর্থাৎ উহার ভারের, ক্রিয়ারেখা সকল ক্ষেত্রেই বস্তুটি সাপেক্ষে স্থির, বিশেষ একটি বিন্দু দিয়া যায়। এই বিন্দুকে বস্তুটির **ভারকেন্দ্র** বলে"। এই সংজ্ঞা হইতে বোঝা যায় কোন বস্তুকে তাহার ভারকেন্দ্রে ধরিয়া রাখিলে বস্তুটি কোন দিকে ঘুরিতে প্রয়াস পাইবে না।

সরল জ্যামিতিক আকারের কয়েকটি সুষম (uniform), সমসত্ত্ব (homogeneous) বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান নিচে বলা হইল ঃ

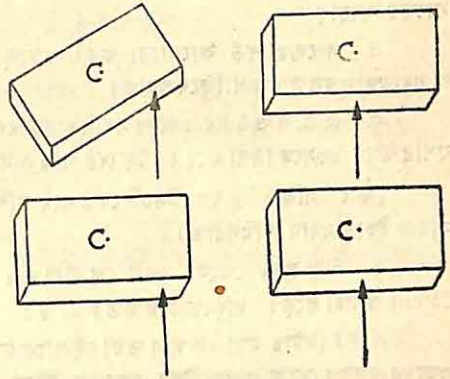
বস্তু	ভারকেন্দ্রের অবস্থান
সরু, সরল দণ্ড	দণ্ডের মধ্যবিন্দু
গোল পাত	বৃত্তের কেন্দ্র
বলয়াকার পাত	বলয়ের কেন্দ্র
ত্রিভুজাকার পাত	মধ্যমা (median)-গুলির ছেদবিন্দু
চৌকা পাত	দুই কর্ণের ছেদবিন্দু
গোলক	গোলকের কেন্দ্র
বেলন	বেলনের অক্ষের মধ্যবিন্দু

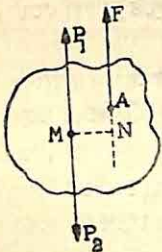
ভারকেন্দ্র বস্তুর পদার্থের মধ্যেই থাকিবে এমন না হইতেও পারে। বলয়ের কেন্দ্রে কোন পদার্থ নাই ; অথচ উহার ভারকেন্দ্র সেখানে।

3-4. ভরকেন্দ্র (Centre of mass)। যেখানে পৃথিবীর আকর্ষণ নাই, সেখানে বস্তুর ভারকেন্দ্র বলিয়া কোন বিন্দু থাকিবে কি থাকিবে না? ভারকেন্দ্রের সংজ্ঞা সেখানে প্রযোজ্য নয় বলিয়া ভারকেন্দ্র বলিয়া কিছু থাকিবে না। ভার যদি না-ই রহিল, তবে ভারের কেন্দ্র আবার কি?

কোন বস্তু ছুড়িয়া মারিলে উহা সাধারণত ভারকেন্দ্রের চারদিকে পাক খাইতে খাইতে যায়। খাট একগাছা লাঠির একমাথা ধরিয়া ছুড়িলে ইহা স্পষ্টই দেখিতে পাইবে। পৃথিবীর আকর্ষণ নাই এমন কোন জায়গায় উহাকে একই ভাবে ছুড়িলে উহা ঐ একই বিন্দুর চারদিকে পাক খাইয়া চলিবে। বস্তুর সকল কণাগুলির অভিকর্ষীয়

ত্বরণ সমান হইলে তবেই পাক খাওয়ার বিন্দু দুটি এক হয়। অভিকর্ষ না থাকিলে তখন ভারকেন্দ্রকে আমরা 'ভরকেন্দ্র' বলি। কিন্তু ভরকেন্দ্রের সংজ্ঞা ওরূপ নয়।

কোন দৃঢ়বস্তুর ভরকেন্দ্র (centre of mass) বলিতে এমন একটি বিন্দু বুঝায় যে বিন্দুতে বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটি না ঘুরিয়া নিজের সমান্তরালে চলিবে। যথাসম্ভব মসৃণ একটি টেবিলের উপর মসৃণ চৌকা একটি বস্তু রাখিয়া পেনসিলের সরু মাথা দিয়া উহাকে ঠেলা দাও (3·4 চিত্র)। সাধারণত বস্তুটি সরিবে, এবং সঙ্গে সঙ্গে ঘুরিবে। কিন্তু প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ারেখা উহার কেন্দ্রবিন্দু C দিয়া গেলে বস্তুটি ঘুরিবে না, নিজের সমান্তরালে চলিবে। C উহার ভরকেন্দ্র।

চিত্র 3·4

একটি বলের ক্রিয়ায় বস্তুর চলন (translation) ও ঘূর্ণন (rotation) একসঙ্গে কি করিয়া হয়, তাহা 3·5 চিত্রের সাহায্যে বোঝা যায়। মনে কর, আলোচ্য বস্তুটির ভরকেন্দ্র M এবং বস্তুটির উপর A বিন্দুতে AF-রেখায় F বল প্রয়োগ করা হইয়াছে। M বিন্দুতে F বলের সমান একজোড়া পরস্পর বিপরীতমুখী বল P_1, P_2-প্রয়োগ করা যাক। এই বল জোড়ার ক্রিয়ায় বস্তুটির গতির কোন পরিবর্তন হইবে না, কারণ সমান ও বিপরীত বল দুটি একে অন্যের ক্রিয়াকে নষ্ট করে। এখন বস্তুটির উপর ক্রিয়াশীল আমাদের তিনটি বল হইল। উহাদের F ও P_2-তে মিলিয়া একটি দ্বন্দ্ব গঠন করে ও বস্তুটিকে ঘুরায়। M বিন্দুতে P_1-বল বস্তুকে নিজের অভিমুখে, অর্থাৎ AF-রেখার সমান্তরালে, সরায়।

চিত্র 3·5

দৃঢ়বস্তুর চলন (translation) সংক্রান্ত সকল আলোচনায় বস্তুটির ভর উহার ভরকেন্দ্রে সংহত বলিয়া ধরা যায়, এবং বাহ্য বলগুলির লব্ধি ঐ বিন্দুতে ক্রিয়া করে। এ ক্ষেত্রে বস্তুটিকে উহার ভরকেন্দ্রে অবস্থিত সমান ভরের একটি কণা বলিয়া মনে করা যায়।

অনুশীলনী

1. টর্কের ক্রিয়া কিরূপ? উদাহরণ দাও। একটি টর্ক অন্য টর্ককে কি অবস্থায় প্রতিমিত (balance) করিতে পারে?

2. সাম্য কাহাকে বলে? সাম্যের শর্ত দুটি ব্যাখ্যা কর। তিনটি বলের ক্রিয়ায় কি ভাবে সাম্য হইতে পারে?

3. ভারকেন্দ্র ও ভরকেন্দ্র কাহাদের বলে? দুই-এর ধর্মে প্রভেদ কি? ইহাদের কোন্‌টি সকল অবস্থায়ই থাকিবে, এবং কোন্‌টি বিশেষ অবস্থায় থাকিবে? উভয়ে কখন এক?

4. কোন বস্তু (ক) 'স্থির অবস্থায় আছে', (খ) 'সাম্যে আছে'—এই দুই উক্তির অর্থ কি এক? পৃথিবী কি সাম্যে আছে? প্যারাসুটে সুষমবেগে কোন বস্তু নিচে পড়িতে থাকিলে উহার অবস্থা কি সাম্যের অবস্থা?

5. সাম্যের শর্ত আলোচনা কর। কোন্ অবস্থায় (ক) তিনটি সমান্তরাল বল ও (খ) তিনটি অ-সমান্তরাল বল সাম্যে থাকিবে বুঝাও।

6. 3, 2, 6 ও 6 kg ওজনের সমান চারটি বল যথাক্রমে দক্ষিণ, পুব, উত্তর ও পশ্চিম দিকে একই কণার উপর একসঙ্গে ক্রিয়া করে। উহাদের লব্ধি ও সাম্যকের মান ও দিক্ হিসাব কর।

[উঃ লব্ধি 5 kg বল; উত্তরদিকের সঙ্গে পশ্চিমে θ কোণে হেলিয়া থাকিলে $\tan \theta = 4/3$ হইবে। সাম্যক ইহার সমান ও বিপরীত।]

7. 500 গ্রাম ওজনের একটি বস্তু 200 cm লম্বা একগাছা দড়ির মাঝখানে ঝুলাইলে মধ্যবিন্দু 25 cm ঝুলিয়া পড়ে। দড়িতে টান কত? [উঃ প্রায় 2060 g-wt]

8. 3 মিটার লম্বা একখানা তক্তা দুইপ্রান্তে দুগাছা খাড়া দড়ির সাহায্যে ঝুলান আছে। 72 kg ওজনের একজন লোক তক্তার উপর একপ্রান্ত হইতে 1 মিটার দূরে বসিয়া আছে। দড়ির কোন্ গাছায় টান কত? তক্তার ওজন উপেক্ষা কর। [উঃ কাছের দড়িতে 48 kg; অন্য গাছায় 24 kg]

9. 2 মিটার লম্বা এবং 4 kg ওজনের একটি লিভার দণ্ড উহার এক প্রান্ত হইতে 50 cm দূরে একটি আলম্বের উপরে রাখা আছে। আলম্বের কাছের প্রান্তে দণ্ড হইতে 16 kg ভার ঝুলাইলে, অন্য প্রান্তে কত বল প্রয়োগ করিলে দণ্ড সাম্যে থাকিবে। [সংকেত: আলম্ব সাপেক্ষে বলগুলির বামাবর্তী ও দক্ষিণাবর্তী টর্কগুলি সমান হইবে। দণ্ডের ভার উহার ভারকেন্দ্রে (মধ্যবিন্দুতে) ক্রিয়া করে। উঃ 4 kg বল]

10. একটি লোক 3 kg জিনিস কিনিল। ওজন ঠিক আছে কিনা দেখিবার জন্য সে 1 kg মানের একটি স্প্রিংতুলা ও একখানা মিটারস্কেল সংগ্রহ করিল। ইহা দিয়া সে কিভাবে কেনা জিনিসের ওজন যাচাই করিতে পারিবে?

[সংকেত: স্কেলের 25 cm দাগে আলম্ব (fulcrum) রাখিয়া হ্রস্ব বাহুর প্রান্ত হইতে 3 kg ওজনের জিনিসটি ঝুলাও। অন্যপ্রান্তে স্প্রিংতুলা দিয়া 1 kg বল প্রয়োগ কর। আলম্ব সাপেক্ষে দুই বলের ভ্রামক সমান ও বিপরীত হওয়ায় স্কেল অনুভূমিক থাকিবে।]

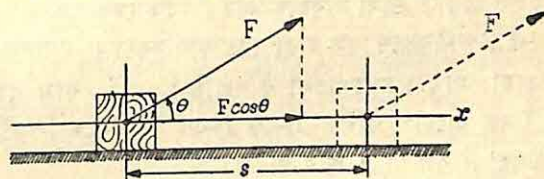
৪ কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি
(Work, Power and Energy)

4-1. কার্য (Work)। কোন স্থিরমান বল F কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করায় বলের ক্রিয়াবিন্দু যদি বলের ক্রিয়ামুখে s দূরত্ব সরে, তবে বল বস্তুটির উপর কার্য করিয়াছে বলা হয়। বল **দ্বারা** কৃত কার্যের পরিমাণ

$$W = Fs \tag{4-1.1}$$

বলের অভিমুখ ও প্রয়োগবিন্দুর সরণ একরেখায় না হইয়া উহাদের মধ্যে θ কোণ থাকিলে (4·1 চিত্র) কার্যের মান হয়,

$$W = Fs \cos \theta \tag{4-1.2}$$

দুই ভাবে এই সিদ্ধান্তে আসা যায়। সরণের অভিমুখে বলের উপাংশ $F \cos \theta$ এবং তাহার অভিলম্বে $F \sin \theta$। $F \cos \theta$ বল নিজের অভিমুখে ক্রিয়াবিন্দুকে s দূরত্ব সরাইয়াছে। সুতরাং কার্য হইয়াছে $Fs \cos \theta$।

চিত্র 4·1

$F \sin \theta$ বল নিজের অভিমুখে ক্রিয়াবিন্দু সরাইতে পারে নাই ; সুতরাং উহা কোন কার্যও করে নাই। অতএব মোট কার্যের পরিমাণ $Fs \cos \theta$।

বিকল্পে, বলের ক্রিয়ামুখে s-এর উপাংশ $s \cos \theta$, এবং তাহার অভিলম্বে $s \sin \theta$। F বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে মাত্র $s \cos \theta$ দূরত্ব সরিয়াছে। সুতরাং কার্য হইয়াছে $Fs \cos \theta$। ক্রিয়াবিন্দু $s \sin \theta$ অভিমুখে একেবারেই সরে নাই ; কাজেই কোন কার্যও হয় নাই। এভাবে দেখিলেও মোট কার্যের পরিমাণ $Fs \cos \theta$।

লক্ষ্য কর, কার্যের সংজ্ঞায় দুইটি রাশি জড়িত—(১) বল ও (২) বলের ক্রিয়ামুখে কিছুটা দূরত্ব। যখন তুমি কোন গাড়ি ঠেল বা মেজে হইতে কোন জিনিস তোল, তখন তুমি কেবল যে বল প্রয়োগ করিতেছ তাহা নয় ; কিছুটা দূর ধরিয়া তুমি এই বল প্রয়োগ করিতেছ। এক্ষেত্রে তুমি কার্য করিলে। কিন্তু এক বালতি জল হাতে নিয়া তুমি যদি বালতিটিকে স্থির অবস্থায় ধরিয়া রাখ, তখন তুমি বল প্রয়োগ করিতেছ, কিন্তু বল তাহার ক্রিয়ামুখে কিছুটা দূর ধরিয়া প্রযুক্ত হয় নাই। এক্ষেত্রে বল প্রয়োগে তোমার হাত ব্যথা হইলেও তুমি উপরে বর্ণিত অর্থে কার্য কর নাই।

বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখের বিপরীত দিকে সরিলে বলা হয় ঐ বলের **বিরুদ্ধে** কার্য করা হইয়াছে। কার্যের মান 4-1.1 বা 4-1.2 সমীকরণ হইতে পাওয়া

যায়। বল নিজের ক্রিয়ায় কখনও ক্রিয়াবিন্দুকে বলের ক্রিয়ামুখের বিপরীতে সরাইতে পারে না। বিপরীতে সরিলে বুঝিতে হইবে অন্য বল ক্রিয়া করিয়াছে। এ অবস্থায় θ 90°-র বেশী হয় এবং $\cos\theta$ হয় নিগেটিভ। অতএব W নিগেটিভ হইলে বুঝিতে হইবে আলোচ্য বলের বিরুদ্ধে অন্য কোন বল ক্রিয়া করিয়াছে।

কোন বল যখন কার্য করে তখনই দেখা যায় অন্য কোন বলের বিরুদ্ধে কার্য হইতেছে। অমসৃণ তলের উপর দিয়া কিছু টানিয়া লইবার সময় ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য হয়। ঘর্ষণ গতিতে বাধা দেয়। কোন বস্তুকে মাটি হইতে উপরে তুলিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কার্য হয়। mg ওজনের বস্তুকে h উচ্চতায় তুলিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে $W = mgh$ পরিমাণ কার্য হয়।

অভিকর্ষের টানে কোন বস্তু যখন নিচে পড়ে তখন অভিকর্ষ কার্য করে। এখানে কোন্ বলের বিরুদ্ধে কার্য হয়? মনে রাখিতে হইবে বস্তুটির জাড্য বস্তুটির গতিতে বাধা দেয়। অভিকর্ষ এই জাড্যজনিত বলের বিরুদ্ধে কার্য করে।

কার্যের আলোচনায় আমরা 'বল দ্বারা', 'বলের বিরুদ্ধে', 'বস্তুর উপর' কার্য করা হইল প্রভৃতি ভাষা ব্যবহার করি। ইহাদের অর্থ পরিষ্কার বোঝা দরকার। 4-1.1 ও 4-1.2 সমীকরণে 'বল দ্বারা' কৃত কার্য বুঝায়। 'বলের বিরুদ্ধে' কার্য বলিতে কি বুঝায় তাহা আমরা আলোচনা করিয়াছি। যদি কোন বস্তু A অন্য কোন বস্তু B-র উপর F বল প্রয়োগ করিয়া B-কে F-এর ক্রিয়ামুখে কিছুটা সরায়, তখন আমরা বলি 'B-র উপর' F বল বা A কার্য করিল।

4-2. কার্যের একক (Units of work)। বলের ও দূরত্বের যত রকম একক হইতে পারে তাহাদের সমবায়ে কার্যের একক বহু রকমের হইতে পারে। কিন্তু আমরা প্রধানত সিজিএস্ ও এম্কেএস্ পদ্ধতির নিরপেক্ষ একক (Absolute units(এবং অভিকর্ষীয় একক (Gravitational units) লইয়াই আলোচনা করিব।

(ক) নিরপেক্ষ একক। সিজিএস্ পদ্ধতিতে কার্যের একক **আর্গ (erg)**; এক ডাইন বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে এক সেন্টিমিটার সরিলে কার্য হয় এক আর্গ। $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm}$.

এম্কেএস্ পদ্ধতিতে কার্যের একক **জুল (joule)**; এক নিউটন বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে এক মিটার সরিলে কার্য হয় এক জুল (সংকেত J)।

এফ্পিএস্ পদ্ধতিতে কার্যের একক ফুট-পাউণ্ডাল; এক পাউণ্ডাল বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের ক্রিয়ামুখে এক ফুট সরিলে কার্য হয় এক ফুট-পাউণ্ডাল।

আর্গ অত্যন্ত ছোট একক বলিয়া 10^7 erg-কে সিজিএস্ এককে কার্যের **ব্যবহারিক (practical) একক** ধরা হয়। ইহাই এক জুল।

$$1 \text{ joule} = 1\text{N} \times 1\text{m} = 10^5 \text{ dyn} \times 100 \text{ cm} = 10^7 \text{ erg}$$।

$$1 \text{ ft-pdl} = 1 \text{ ft} \times 1 \text{ lb} \times 1 \text{ ft/s}^2 = 30{\cdot}48 \text{ cm} \times 453{\cdot}6 \text{ g} \times 30{\cdot}48 \text{ cm/s}^2$$
$$= 4{\cdot}214 \times 10^5 \text{ erg} = 0{\cdot}04214 \text{ joule}$$।

(খ) অভিকর্ষীয় একক। ইহাতে বল অভিকর্ষীয় এককে নেওয়া হয় ; দূরত্ব নিরপেক্ষ এককেই থাকে। কার্যের নিরপেক্ষ এককগুলিকে যথাযথ পদ্ধতির g-র মান দিয়া গুণ করিলে অভিকর্ষীয় এককগুলি পাওয়া যায়।

$$1 \text{ gram-centimetre} = 1 \text{ g-wt} \times 1 \text{ cm} = 980 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm} = 980 \text{ dyn cm} = 980 \text{ erg}$$ ।

$$1 \text{ kilogram-metre} = 1 \text{ kg-wt} \times 1 \text{ m} = 9{\cdot}8 \text{ newton metre} = 9{\cdot}8 \text{ joule}$$ ।

$$1 \text{ foot-pound} = 1 \text{ lb-wt} \times 1 \text{ ft} = 32{\cdot}2 \text{ ft-pdl}$$ ।

কিলোগ্র্যাম-মিটার বা মিটার-কিলোগ্র্যাম বলিতে এক কিলোগ্র্যাম ওজনের সমান বলকে বলের ক্রিয়ামুখে এক মিটার সরাইলে যে কার্য হয় তাহা বুঝায়। অন্যগুলির ব্যাখ্যাও অনুরূপ। এক পাউণ্ড ভর অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক ফুট তুলিলে এক ফুট-পাউণ্ড কার্য হয়।

4-3. ক্ষমতা (Power)। কার্য করার হারকে ক্ষমতা বলে, অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ কার্য হয় তাহাই ক্ষমতা।

$$\text{ক্ষমতা} = \frac{\text{কার্য}}{\text{সময়}} = \frac{\text{বল} \times \text{দূরত্ব}}{\text{সময়}} = \text{বল} \times \text{বেগ}$$ ।

এম্‌কেএস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার নিরপেক্ষ একক ওয়াট ; এক সেকেণ্ডে এক জুল কার্যের হার হইল এক **ওয়াট (watt ;** চিহ্ন W)। এক হাজার ওয়াটকে এক 'কিলোওয়াট' (kilowatt) বলে। ডাইনামো, মোটর প্রভৃতির ক্ষমতা কিলোওয়াটে প্রকাশ করা হয়। এক কিলোওয়াট হারে এক ঘণ্টায় যে কার্য হয় তাহাকে এক 'কিলোওয়াট-আওয়ার' (kWh) বা কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে। ইহা ক্ষমতার একক নয়, কার্যের। বৈদ্যুতিক শক্তির দাম প্রতি কিলোওয়াট-আওয়ার পিছু ধরা হয়।

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ watt} \times 3600 \text{ s} = 36 \times 10^5 \text{ joule}$$ ।

সিজিএস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার নিরপেক্ষ একক প্রতি সেকেণ্ডে এক আর্গ (1 erg/s)। ইহার আলাদা কোন নাম নাই।

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ J/s} = 10^7 \text{ erg/s}$$

ওয়াট সিজিএস্ পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক (practical) একক।

এফ্‌পিএস্ পদ্ধতিতে ইঞ্জিনিয়াররা 'হর্সপাওয়ার' (Horsepower) নামে ক্ষমতার একটি একক ব্যবহার করেন। প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড হারে কার্য হইলে সেই ক্ষমতাকে এক হর্সপাওয়ার বলে।

হর্সপাওয়ার (hp) ও কিলোওয়াটে (kW) সম্পর্ক।

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft.lb/s} = 550 \times 32{\cdot}2 \text{ ft.pdl/s} = 550 \times 32{\cdot}2 \times 0{\cdot}04214 \text{ joule/s} = 746 \text{ watt} = \text{প্রায় } \tfrac{3}{4} \text{ kW}$$ ।

$$1 \text{ kW} = 1/0{\cdot}746 \text{ hp} = 1{\cdot}34 \text{ hp } (= \text{প্রায় } 1\tfrac{1}{3} \text{ hp})$$ ।

মানুষের ক্লান্তিবোধ তাহার কার্য করার হারের উপর নির্ভর করে ; মোট কার্যের উপর নয়।

প্রশ্ন। (1) 70 kg ওজনের একজন লোক 20 cm ধাপের 36 ধাপ সিঁড়ি বাহিয়া উঠিল। অভিকর্ষের বিরুদ্ধে সে কতটা কার্য করিল?

[সমাধান—কার্য $= 70$ kg-wt $\times 0{\cdot}2$m $\times 36 = 504$ kilogram-metre

$= 9{\cdot}8 \times 504$ newton metre বা joule]

(2) 60 ft উঁচুতে 1000 গ্যালন আয়তনের একটি চৌবাচ্চা পাম্পের সাহায্যে জল তুলিয়া ভরিতে হইবে। 0·5 hp ক্ষমতার পাম্প ব্যবহার করিলে চৌবাচ্চা ভরিতে কত সময় লাগিবে?

(1 গ্যালন = 10 lb জলের আয়তন)

[সমাধান—1000 গ্যালন জলের ওজন $= 10^4$ lb। মোট যে পরিমাণ কার্য করিতে হইবে তাহার মান $= 10^4$ lb-wt $\times 60$ ft $= 6.10^5$ ft-lb।

0·5 hp ক্ষমতার মোটর প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{1}{2} \times 550 = 275$ ft-lb কার্য করিতে পারে।

অতএব নির্ণেয় সময় $= 6.10^5/275$ সেকেণ্ড $= 36$ মিনিট 22 সেকেণ্ড (প্রায়)।]

(3) একটি ট্র্যাক্টর (tractor) 1000 kg অনুভূমিক বল প্রয়োগ করিতে পারে এবং ঘণ্টায় 5 km বেগে চলে। উহার ক্ষমতা কত কিলোওয়াট?

[সমাধান—ক্ষমতা = বল $\times$ বেগ। বল $= 1000$ kg-wt $= 9800$ newton।

বেগ $= 5 \times 10^3$ m/3600 s। $\therefore$ ক্ষমতা $= 9800$ newton $\times 5 \times 10^3$m/3600 s

$= 49.10^6$ joule/3600 s $= 1{\cdot}36.10^4$ watt $= 13{\cdot}6$ kW।

4-4. যান্ত্রিক শক্তি (Mechanical energy)। এক বস্তু অন্য বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া তাহাকে সরাইতে পারে। এরকম ক্ষেত্রে প্রথম বস্তুটি কার্য করিয়াছে এবং ফলে যান্ত্রিক শক্তি হারাইয়াছে বলা হয়। **কার্য করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে।** এই সংজ্ঞায় বর্ণিত শক্তিকে এখানে যান্ত্রিক শক্তি মনে করাই সঙ্গত। কোন বস্তু যে পরিমাণ কার্য করিতে পারে সেই পরিমাণ কার্যকেই বস্তুটির শক্তির মান বলিয়া ধরা হয়। অতএব **শক্তিকে কার্যের এককে প্রকাশ করা হয়।** উভয়ে একই প্রকৃতির রাশি।

সচল বস্তু কার্য করিতে পারে। অবস্থা বিশেষে স্থির বস্তুও পারে। সচল থাকার জন্য কার্য করিবার যে সামর্থ্য তাহাকে 'গতিশক্তি', এবং স্থির অবস্থায় থাকিয়াও কার্য করার সামর্থ্য থাকিলে তাহাকে 'স্থিতিশক্তি' বলে। এই দুই রকম শক্তিকে একত্রে 'যান্ত্রিক শক্তি' (mechanical energy) বলা হয়।

4-4.1. গতিশক্তি (Kinetic energy)। গতি থাকিলে বস্তুর কার্য করার যে সামর্থ্য হয় তাহাকে **গতিশক্তি** বলে। কোন বিরুদ্ধ বল প্রয়োগে বস্তুটিকে থামাইলে ঐ বলের বিরুদ্ধে বস্তুটি যে পরিমাণ কার্য করিতে পারে তাহাকেই গতিশক্তির মান ধরা হয়।

মনে কর m ভরের কোন বস্তুর বেগ v। বস্তুটিকে থামাইবার জন্য তাহার গতির বিরুদ্ধে F বল প্রয়োগ করা হইল। এক্ষেত্রে বস্তুটির ত্বরণ হইবে $f = -F/m$। এই বলের বাধায় বস্তুটি s পথ গিয়া থামিল। বস্তুটির আদিবেগ v, অন্তবেগ $= 0$।

অতএব (অন্তবেগ)^2 – (আদিবেগ)^2 = 2 × ত্বরণ × অতিক্রান্ত পথ, এই সূত্র (1-2.3 সমীকরণ) হইতে আমরা পাই

$$-v^2 = 2\times(-F/m)\times s \quad \text{বা} \quad Fs = \tfrac{1}{2}mv^2.$$

গতি থামাইবার বল F-এর বিরুদ্ধে এক্ষেত্রে কার্য হইল Fs। ইহার মান পাওয়া গেল $\frac{1}{2}mv^2$-এর সমান। কার্যের মান F বা s-এর উপর নির্ভর করে না ; করে কেবল বস্তুর ভর ও বেগের উপর। অতএব বস্তুটির গতিশক্তি

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2 \tag{4-4.1}$$

গতিশক্তি = $\frac{1}{2}$ × ভর × (বেগ)^2 ।

বলের ক্রিয়ায় বস্তুর গতিশক্তি লাভ। (ক) মনে কর কোন স্থিরমান বল F-এর ক্রিয়ায় m ভরের একটি বস্তু স্থির অবস্থা হইতে শুরু করিয়া v বেগ পাইল। এক্ষেত্রে বস্তুটির ত্বরণ $f = F/m$, আদিবেগ 0 এবং অন্তবেগ v। $v^2 - u^2 = 2fs$ সূত্র হইতে এক্ষেত্রে পাই

$$v^2 - 0 = 2Fs/m \quad \text{বা} \quad Fs = \tfrac{1}{2}mv^2 \text{ ।}$$

স্থির অবস্থায় বস্তুটির গতিশক্তি ছিল না ; পরে গতিশক্তি হইল $\frac{1}{2}mv^2$। উহার উপর ক্রিয়াশীল বল F-এর ক্রিয়াবিন্দু ইতিমধ্যে s দূরত্ব সরিয়াছে। সুতরাং বল Fs পরিমাণ কার্য করিয়াছে। $Fs = \frac{1}{2}mv^2$ হওয়ায় দেখা গেল বস্তুটিকে v বেগ দিতে বল যে পরিমাণ কার্য করে, বস্তুটি ঠিক ততটুকু গতিশক্তি পায়।

(খ) মনে কর আরম্ভে বস্তুটির বেগ 0 না হইয়া u ছিল এবং F বলের ক্রিয়ায় s পথ যাইতে বেগ বাড়িয়া v হইল। এক্ষেত্রে বস্তুটির গতিশক্তি বৃদ্ধি $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$। সহজেই দেখান যায় এই বৃদ্ধির মান = F বল দ্বারা কৃত কার্য Fs। এখানে ত্বরণ $f = F/m$ হওয়ায়, $v^2 - u^2 = 2fs$ সমীকরণের উভয় দিক্ $\frac{1}{2}m$ দিয়া গুণ করিয়া পাই

$$\tfrac{1}{2}mv^2 - \tfrac{1}{2}mu^2 = \tfrac{1}{2}m.2(F/m)s = Fs \tag{4-4.2}$$

এই সমীকরণটিকে অনেক সময় **গতিশক্তি সম্বন্ধীয় সমীকরণ (Energy equation)** বলা হয়।

প্রশ্ন। (1) 1 kg ভরের একটি বস্তু 10 m/s বেগে চলিতেছে। জুল ও আর্গ এককে উহার গতিশক্তি বাহির কর।

[সমাধান—$K = \frac{1}{2}\times 1\text{ kg}\times(10\text{ m/s})^2 = 50$ joule। সিজিএস্ এককে
$K = \frac{1}{2}\times 1000\text{ g}\times(1000\text{ cm/s})^2 = 5\times 10^8$ erg।]

(2) 10 N (নিউটন) বল 2 kg ভরের উপর 5 সেকেণ্ড ক্রিয়া করিলে বস্তুটির গতিশক্তি কত বাড়িবে ? (1 newton = 10^5 dyn)

[সমাধান—গতিশক্তি বৃদ্ধি = $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = Fs$ = বলদ্বারা কৃত কার্য। $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$। u সম্বন্ধে কিছু বলা না থাকায় $u = 0$ ধরা যাক। তাহা হইলে $s = \frac{1}{2}ft^2 = \frac{1}{2}\times(10\text{ N}/2\text{ kg})\times(5\text{ s})^2 = 62{\cdot}5$ m। অতএব গতিশক্তি বৃদ্ধি = 10 N × 62·5 m = 625 newton metre = 625 joule]

4-4.2. স্থিতিশক্তি (Potential energy)। কোন বস্তুর বিভিন্ন অংশের আপেক্ষিক অবস্থান বা পরিপার্শ্ব সাপেক্ষে উহার অবস্থানের জন্য উহাতে কার্য করিবার যে

সামর্থ্য সঞ্চিত হয় তাহাকে উহার **স্থিতিশক্তি** বলে। কোন প্রামাণ্য (standard) অবস্থানে ফিরিয়া যাওয়ার আগ পর্যন্ত বস্তুটি যে কার্য করিতে পারে তাহাই উহার স্থিতিশক্তির মান ধরা হয়।

কোন বস্তুকে নিচ হইতে উপরে তুলিলে, অভিকর্ষের ক্রিয়ায় নিচে পড়ার সময় উহা কার্য করিতে পারে। উপরে থাকা কালে তাহার কার্য করার এই সামর্থ্যকে **অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি (Gravitational potential energy)** বলে। বস্তুটির ভর m হইলে h উচ্চতায় তুলিতে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে mgh পরিমাণ কার্য করিতে হয়। h পথ নামিয়া আসিতে বস্তুটি ঠিক mgh পরিমাণ কার্য করিতে পারে। অতএব তাহার স্থিতিশক্তির মানও mgh।

$$\text{অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি } W = mgh. \qquad (4\text{-}4.3)$$

বস্তুটি আকারে বড় হইলে h বলিতে তাহার ভারকেন্দ্র কতটা উঠিয়াছে বা নামিয়াছে তাহা বুঝাইবে। কোন্ পথে বস্তুটিকে উঠান বা নামান হইল তাহার উপর অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি নির্ভর করে না। করে কেবল ঐ দুই অবস্থানের মধ্যে খাড়া দূরত্বের (Vertical distance-এর) উপর। এই দূরত্বই h।

প্রশ্ন। 10 cm বাহুবিশিষ্ট আটটি ঠিক একই প্রকারের পাথরের ঘনক সমতল মেজেয় ছড়ান আছে। পাথরের ঘনত্ব $2{\cdot}5\ \text{g/cm}^3$। ঘনকগুলি একটির উপর আর একটি রাখিয়া সবগুলি সাজাইলে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কত কার্য হইবে?

[সমাধান—প্রত্যেক ঘনকের ভর $2{\cdot}5\ \text{g/cm}^3 \times (10\ \text{cm})^3 = 2500\ \text{g}$। সবগুলির ভারকেন্দ্র মেজে হইতে 5 cm উপরে ছিল। উপর উপর সাজান হইলে স্তম্ভের মোট উচ্চতা হইবে 80 cm, এবং ভারকেন্দ্র থাকিবে মেজে হইতে 40 cm উঁচুতে। অতএব মোট কার্য হইবে $8 \times 2500\ \text{g} \times 980\ \text{cm/s}^2 \times (40\ \text{cm} - 5\ \text{cm}) = 5{\cdot}86 \times 10^8\ \text{erg}$। উত্তর অন্যভাবেও পাওয়া যায়। প্রত্যেক পাথরের ওজন 2500×980 dyn। প্রথমখানা স্বস্থানেই থাকিবে। দ্বিতীয়খানা 10 cm উঠাইতে হইবে; তৃতীয়খানা 20 cm, চতুর্থ 30 cm, শেষখানা 70 cm। অতএব মোট কার্য 2500×980 dyn $(0+10+20+30+40+50+60+70)\ \text{cm} = 5{\cdot}86 \times 10^8\ \text{erg}$]

স্থিতিস্থাপকতা জনিত স্থিতিশক্তি (Elastic potential energy)। অভিকর্ষ ছাড়া অন্যভাবেও বস্তুতে স্থিতিশক্তি সঞ্চয় করা যায়। সব বস্তুরই একটা স্বাভাবিক আকার বা আয়তন আছে। কোন অতিরিক্ত বল ক্রিয়া না করিলে বস্তুটি ঐ আকারে বা আয়তনে থাকে। প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় ঐ আকার বা আয়তনের পরিবর্তন হইলে পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) ধর্মের জন্য বস্তুটি স্বাভাবিক আকার বা আয়তনে ফিরিয়া যাইতে চায়। ফিরিয়া যাইবার এই প্রচেষ্টায় বস্তুটি অন্য বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিতে এবং কার্য করিতে পারে। দেখা যায় আকার বা আয়তন পরিবর্তনেও বস্তু স্থিতিশক্তি লাভ করিতে পারে।

ঘড়িতে দম দিলে স্প্রিং গুটাইয়া যায়, অর্থাৎ তাহার স্বাভাবিক আকারের পরিবর্তন হয়। স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া যাওয়ার চেষ্টায় স্প্রিং তাহার সঙ্গে সংযুক্ত কলকব্জার উপর বল প্রয়োগ করে, এবং তাহাতেই ঘড়ি চলে। গুলতি দিয়া ঢিলছোড়া অনুরূপ আর একটি উদাহরণ। এরূপ উদাহরণের অভাব নাই। বেশী চাপের বায়ু

নানারকম যন্ত্র চালাইতে পারে। উহা চাপ কমাইয়া, অর্থাৎ আয়তন বাড়াইয়া, নিজের স্বাভাবিক চাপে বা আয়তনে যাইতে চাওয়ার প্রয়াসে কার্য করিতে পারে।

আকার বা আয়তনের পরিবর্তন করিয়া বায়ুকে যে স্থিতিশক্তি দেওয়া হয়, তাহাকে স্থিতিস্থাপকতা জনিত স্থিতিশক্তি (Elastic potential energy) বলে। পরিবর্তন আনিতে বস্তুটির উপর যে কার্য করা হয়, স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া যাইতে, অবস্থা অনুকূল হইলে, বস্তুটি ঠিক ততখানি কার্য করিতে পারে।

4-5. যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষণ (Conservation of mechanical energy)। দেখা যায়, যে সকল ক্ষেত্রে কোন বস্তুর উপর করা কার্য উপযুক্ত পরিবেশে সম্পূর্ণরূপে ফিরিয়া পাওয়া সম্ভব, সে সকল ক্ষেত্রে বস্তুর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল স্থির থাকে, অর্থাৎ বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিবর্তন হয় না। বলের ক্রিয়ায় গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে বা স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে পরিণত হয়। এই তথ্যকে **যান্ত্রিক শক্তির সংরক্ষণ সূত্র (Principle of conservation of mechanical energy)** বলে। অভিকর্ষের ক্রিয়ায় গতি ইহার সবচেয়ে সহজ উদাহরণ। খুব সরল গণিতের সাহায্যে এ ক্ষেত্রে মোট যান্ত্রিক শক্তির স্থিরতা সহজেই প্রমাণ করা যায়। নিচে ইহা করা হইল।

(ক) বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তু (Freely falling body)। কোন বস্তু উপর হইতে নিচে পড়িতে থাকিলে বায়ু তাহার গতিতে বাধা দেয়। এই বাধা উপেক্ষণীয় হইলে দেখান যায় পড়ন্ত বস্তুর স্থিতি- ও গতিশক্তির যোগফল পতনকালে স্থির থাকে।

ধরা যাক বস্তুটির ভর m এবং মাটি হইতে উহা h উচ্চতায় স্থির অবস্থায় আছে। x-পথ অতিক্রম করার পর উহার বেগ যেন হইল v। প্রথমে বেগ ছিল শূন্য। অতএব $v^2-u^2=2fs$ সূত্র হইতে পাই $v^2=2gx$, এবং $\frac{1}{2}mv^2=mgx$।

এই অবস্থায় বস্তুটির গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv^2$ এবং অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি $mg(h-x)$। দুইএর যোগফল $=\frac{1}{2}mv^2+mg(h-x)=mgx+mg(h-x)=mgh$। m, g এবং h প্রত্যেকটিই স্থিরমান রাশি। x-এর মান 0 হইতে h যাহাকিছু হইতে পারে। অতএব বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল পড়িবার সময় স্থির থাকে। যোগফলের মান বস্তুটির আদি অবস্থার স্থিতিশক্তির সমান। পড়িবার সময় স্থিতিশক্তি কমে, এবং উহা যতটা কমে গতিশক্তি ঠিক ততটাই বাড়ে। মাটি ছুঁইবার মুহূর্তে বেগ V হইলে তখন গতিশক্তি $\frac{1}{2}mV^2$ এবং স্থিতিশক্তি শূন্য। সহজেই দেখান যায় $\frac{1}{2}mV^2=mgh$।

(খ) ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত বস্তু (Body projected vertically upward)। ধরা যাক বস্তুটির ভর m ও আদিবেগ u। উঠিবার পথে অভিকর্ষীয় ত্বরণ গতির বিপরীত হওয়ায় $f=-g$। h দূরত্ব উঠিবার পর বেগ v হইলে, $v^2-u^2=2fs$ সমীকরণ অনুসারে পাই $v^2-u^2=-2gh$। ইহার উভয় দিক্ $\frac{1}{2}m$ দিয়া গুণ করিলে পাই $\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2=-mgh$ বা $\frac{1}{2}mv^2+mgh=\frac{1}{2}mu^2$। ইহার অর্থ, উঠিবার পথের যে কোন বিন্দুতে (h উচ্চতায়) বস্তুটির গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv^2$ ও স্থিতিশক্তি mgh

আদিগতিশক্তি $\frac{1}{2}mu^2$-এর সমান। গতিশক্তি হ্রাস $\frac{1}{2}mu^2 - \frac{1}{2}mv^2$ স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি mgh-এর সমান। গতিশক্তি কমিতে কমিতে উর্ধ্বতম বিন্দুতে (H উচ্চতায়) শূন্যে পরিণত হয়। তখন শক্তি সম্পূর্ণ স্থিতিশক্তি এবং $\frac{1}{2}mv^2 = mgH$ ।

মসৃণ নততল বাহিয়া গতি বা তির্যকভাবে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতিতেও সহজেই দেখান যায় যে গতিপথের যে কোন বিন্দুতে বস্তুর গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল সমান থাকে এবং ইহা বস্তুটির আদিগতিশক্তি বা স্থিতিশক্তির সমান।

4-6. শক্তিসংরক্ষণ বা শক্তির নিত্যতা (Conservation of energy)ঃ শক্তির রূপান্তরের সকল ক্ষেত্রেই দেখা যায় শক্তি এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে চালিত হইয়াছে। যে বস্তুর শক্তি নাই তাহার কাছ হইতে অন্য বস্তু শক্তি পাইতে পারে না। শক্তির কেবলমাত্র সঞ্চালন বা রূপান্তর হইতে পারে। যেখানে সূক্ষ্ম মাপজোখ সম্ভব সেখানে আমরা দেখিতে পাই শক্তি এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে সঞ্চালিত হইলে প্রথমটি যে পরিমাণ শক্তি হারায়, অন্যটি বা অন্যগুলি ঠিক সেই পরিমাণ শক্তি লাভ করে। ইহা হইতে বিজ্ঞানী সিদ্ধান্ত করিয়াছেন যে "মহাবিশ্বে শক্তির পরিমাণ স্থির। শক্তির সৃষ্টিও নাই বিনাশও নাই।" এই তথ্যকে **শক্তির নিত্যতা সূত্র বা শক্তিসংরক্ষণ সূত্র (Law of conservation of energy)** বলে।

যে বস্তুসমষ্টি নিজেদের মধ্যে শক্তি বিনিময় করিতে পারে, কিন্তু বাহির হইতে শক্তি নিতে বা বাহিরে শক্তি দিতে পারে না, তাহাকে 'বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতি' (Isolated system of bodies) নাম দেওয়া যায়। শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ না থাকায় এবং বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতিতে শক্তি ঢুকিতে বা উহা হইতে বাহির হইতে না পারায়, বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতিতে মোট শক্তির পরিমাণ স্থির থাকিবে। উহার রূপান্তর হইতে পারিবে, কিন্তু মান বদলাইবে না। অতএব আমরা শক্তির নিত্যতা সূত্র বা শক্তিসংরক্ষণ সূত্রে এভাবেও প্রকাশ করিতে পারি—

যে কোন বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতিতে শক্তির মোট পরিমাণ স্থির থাকে।
(The total energy of an isolated system of bodies is constant.)

কোন বিশেষ ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্র প্রয়োগ করিতে আমাদের যদি মহাবিশ্বের কথা ভাবিতে হয়, তাহা হইলে প্রয়োগ অত্যন্ত জটিল ও কঠিন হইয়া পড়ে। প্রয়োগের অধিকাংশ ক্ষেত্রেই আমরা দেখিতে পাই শক্তি বিনিময় দুই বা অল্প কয়েকটি বস্তুর মধ্যে সীমাবদ্ধ। এই বস্তু কয়টিকে আমরা বিচ্ছিন্ন সংহতি মনে করিয়া তাহার উপর শক্তির নিত্যতা সূত্র প্রয়োগ করিতে পারি। ইহাতে প্রয়োগ সহজ হয়।

শক্তির নিত্যতা বিজ্ঞানের ভিত্তি। আমাদের অভিজ্ঞতায় আমরা কোথাও ইহার ব্যতিক্রম পাই নাই। যে কোন পরিবর্তন ঘটাইতেই শক্তির প্রয়োজন, এবং শক্তি রূপান্তরিত হয় মাত্র ; লোপ পায় না।

4-6.1. স্থিতিশক্তির ন্যূনতমতার তত্ত্ব (Principle of minimum potential energy)। শক্তি সম্বন্ধে আর একটি প্রয়োজনীয় তত্ত্ব 'স্থিতিশক্তির ন্যূনতমতা'। যে কোন বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতি নিজ হইতেই সেই অবস্থায় যাইতে চায়

যে অবস্থায় তাহার মোট স্থিতিশক্তি হয় সবচেয়ে কম (অবম)। এই জন্যই পেঁচান স্প্রিং খুলিতে চায় বা জল ঢাল বাহিয়া নামে। এই তত্ত্বের প্রয়োগ তোমরা পরে অনেক পাইবে। তত্ত্বটি গণিতের সাহায্যে প্রমাণও করা যায়। কিন্তু সে গণিত এখনও তোমাদের আয়ত্তে আসে নাই। এ পর্যন্ত স্থিতিশক্তি সম্বন্ধে যাহা জানিয়াছ তাহার সঙ্গে তত্ত্বটি মিলাইয়া নিতে পার।

অনুশীলনী

1. কার্য কাহাকে বলে? 'বল দ্বারা' এবং 'বলের বিরুদ্ধে' কৃত কার্যে প্রভেদ কি, তাহা দুইটি করিয়া উদাহরণ দিয়া বুঝাও।

দড়ি টানাটানি খেলায় 'ক' দল 'খ' দলের কাছে হারিয়া গেল। কোন্ দল কার্য করিয়াছে এবং কোন্ দলের বিরুদ্ধে কার্য হইয়াছে?

2. নদীর স্রোতের বিরুদ্ধে একটি লোক নৌকা বাহিতেছে, কিন্তু তীর সাপেক্ষে আগাইতে পারিতেছে না, অর্থাৎ তীরে বসা লোক দেখিতেছে নৌকাটি স্থির আছে। যে নৌকা বাহিতেছে সে কার্য করিতেছে কি না বুঝাইয়া বল।

3. শক্তি কাহাকে বলে? গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2$ প্রমাণ কর। F-বল কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করিয়া উহাকে s পথ সরাইলে উহার গতিশক্তি কতখানি বাড়ে হিসাব কর। স্থিতিশক্তি কাহাকে বলে? অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি $=mgh$ বলিতে কি বুঝায়।

4. বিনা বাধায় পড়ন্ত বা উৎক্ষিপ্ত বস্তুর মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ স্থির থাকে, ইহা প্রমাণ কর।

5. শক্তিসংরক্ষণ (Conservation of energy) বলিতে কি বুঝায় উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। 'বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতি' (Isolated system of bodies) কথাটির অর্থ কি?

6. কার্যের সংজ্ঞা ও উদাহরণ দাও। কার্য সংক্রান্ত $W=Fs\cos\theta$ সমীকরণে সংকেতগুলির অর্থ বলিয়া সমীকরণটি স্থাপন কর। θ 90°-র চেয়ে বড় হইলে সমীকরণটির অর্থ কি হইবে?

7. (ক) জুল, আর্গ, ফুট-পাউণ্ডাল ও ফুট-পাউণ্ড কথা কয়টির সংজ্ঞা দাও। ফুট-পাউণ্ডকে জুলে পরিণত কর। জুলে ও আর্গে সম্পর্ক বাহির কর।

(খ) বল প্রয়োগ এবং কার্য করার মধ্যে কি প্রভেদ বুঝাও।

(গ) বন্দুক হইতে গুলি ছোড়ায় কার্য কে করে—বারুদ না গুলি? ইহাতে কোন্ শক্তি কোন্ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়?

(ঘ) সমতল রাস্তায় মোটরগাড়ি সুষম বেগে যাইতেছে। এক্ষেত্রে গাড়ির উপর অপ্রতিমিত কোন বল নাই। গাড়ির উপর কোন কার্য হইতেছে কি? কারণ বল।

8. 10^5 kg ওজনের একখানা ট্রেন স্থির অবস্থা হইতে চলিয়া এক মিনিটে 12 m/s বেগ পাইল। উহার উপর কত কার্য করা হইয়াছে? ইঞ্জিন ঐ সুষম বেগে গাড়ি টানিতে পারিলে ইঞ্জিনের ক্ষমতা কত কিলোওয়াট?

[সমাধান—সকল রাশি এম্‌কেএস্ এককে নাও। 4-4.2 সমীকরণ প্রয়োগ কর। গতিশক্তি বৃদ্ধি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times10^5$ kg $\times(12$ m/s$)^2$। ইহাই ট্রেনের উপর কৃত কার্য; একক জুল। ক্ষমতা $=$ বল $\times$ বেগ। বল $=$ ভর $\times$ ত্বরণ $=10^5$ kg $\times(12$ m/s$)/60$ s $=2\times10^4$ N (নিউটন)। অতএব ক্ষমতা $=2\times10^4$N $\times12$ m/s $=24\times10^4$ watt $=240$ kW]

9. ভূমি হইতে 5 km উপরের একখানা মেঘ হইতে বৃষ্টি পড়িয়া 10^4 m^2 পরিমিত ক্ষেত্রে 1 cm গভীর জল জমিল। মেঘ কতটা স্থিতিশক্তি হারাইল? [উ: $9{\cdot}8\times10^8$ J]

10. 60 kg ওজনের একটি ছেলে 25 cm ধাপের 32 ধাপ সিঁড়ি 8 সেকেণ্ডে উঠিতে পারিলে সে কত কিলোওয়াট ক্ষমতা প্রয়োগ করিয়াছে? [উঃ 0·59]

11. একটি কুয়া হইতে 5 kW মোটরের সাহায্যে 10 m উঁচুতে জল তোলা হইতে লাগিল। পাম্পের দক্ষতা 84% হইলে প্রতি মিনিটে কত জল উঠিবে? (দক্ষতা = আউটপুট/ইনপুট অর্থাৎ পাম্প দ্বারা কৃত কার্য ÷ পাম্পের উপর কৃত কার্য (5 kW)।) [উঃ 2571 l]

12. ভরবেগ ও গতিশক্তিতে প্রভেদ কি? 10 kg ও 40 kg ওজনের দুইটি ভরের প্রত্যেকটির উপর 5 kg ওজন বল ক্রিয়া করে। উভয় বস্তুকে (ক) একই ভরবেগ, (খ) একই গতিশক্তি দিতে কোন্ ক্ষেত্রে কত সময় লাগিবে তাহার অনুপাত বাহির কর। [উঃ (ক) সমান সময়; (খ) 1 : 2]

13. মাটিতে খুঁটি পুঁতিবার জন্য 250 kg ওজনের ভর 5 m উপর হইতে খুঁটির উপর ফেলায় খুঁটি মাটিতে 2·5 cm বসে। মাটির গড় বাধা কত? [সংকেত—$mgh = Fs$। উঃ 5×10^4 kg-wt]

কম্পন ও তরঙ্গ
(Vibrations and Waves)

১ ‖ কম্পন (Vibrations)

1-1. দোলন বা কম্পন এবং উহার বৈশিষ্ট্য (Oscillation and its characteristics)। কোন কণা বা বস্তু যদি একই পথে বার বার আনাগোনা করিতে থাকে, এবং নির্দিষ্ট সময় পর পর তাহার গতিপথের একই বিন্দুতে ফিরিয়া আসে, তবে এরূপ গতিকে 'পর্যাবৃত্ত গতি' (periodic motion) বলে। ইঞ্জিনের পিষ্টন, সেলাইয়ের কলের ছুঁচ ইহারা সরল রেখায় আনাগোনা করে। গতিপথের যে কোন বিন্দুতে (ধর, এক প্রান্তে) ইহারা যদি নির্দিষ্ট সময় পর পর ফিরিয়া আসে, তবেই সংজ্ঞা অনুসারে ইহাদের গতি যথার্থ পর্যাবৃত্ত বলা হইবে। সরল রেখায় আনাগোনাকে আমরা স্থূলভাবে 'দোলন' (oscillation), 'কম্পন' বা 'স্পন্দন' (vibration) বলিয়া থাকি। কথা তিনটির মধ্যে প্রভেদ খুব স্পষ্ট নয় ; তবে আস্তে আস্তে হইলে তাহাকে দোলন ও দ্রুত হইলে তাহাকে সাধারণত কম্পন বা স্পন্দন বলা হয়, এবং সাধারণত উভয় ক্ষেত্রেই গতি সরল রেখায় মনে করা হয়। তবে, বৃত্ত বা উপবৃত্ত পথেও গতি পর্যাবৃত্ত হইতে পারে। সুষম বেগে কোন চাকা ঘোরা, সূর্যের চারদিকে গ্রহগুলির গতি যথাক্রমে বৃত্ত ও উপবৃত্ত পথে পর্যাবৃত্ত গতির উদাহরণ।

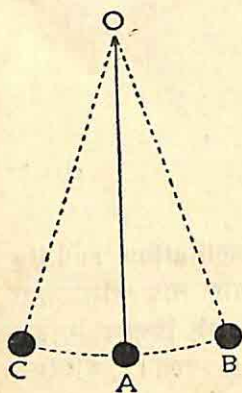
একটি দোলন বা একবার কম্পন সম্পূর্ণ হইতে যে সময় লাগে **পর্যায়কাল** বা **দোলনকাল (Periodic time)** বলিতে সেই সময় বুঝায়। একটি পূর্ণ দোলন বা কম্পন (বা স্পন্দন) বলিতে গতিপথের যে কোন বিন্দু হইতে আরম্ভ করিয়া সম্পূর্ণ পথ একবার ঘুরিয়া আবার সেই বিন্দুতে আসা বুঝায়। প্রতি সেকেণ্ডে যে কয়বার দোলন (বা কম্পন বা স্পন্দন) নিষ্পন্ন হয় তাহাকে দোলনসংখ্যা, কম্পনসংখ্যা বা **কম্পাংক (Frequency)** বলে। ইহা পূর্ণসংখ্যা না হইয়া ভগ্নাংশও হইতে পারে। প্রতি সেকেণ্ডে 10 বার কম্পন হইলে পর্যায়কাল হইবে 0·1s। কম্পনসংখ্যা n এবং পর্যায়কাল T হইলে, উহাদের সম্পর্ক হইবে

$$nT=1 \text{ বা } T=1/n \text{ বা } n=1/T \qquad (1\text{-}1.1)$$

কম্পন বা দোলনে কণা উহার সাম্য অবস্থান হইতে সবচেয়ে দূরে যতটা যায় তাহাকে দোলনের **বিস্তার (Amplitude)** বলে। ইহা গতির দুই প্রান্তের দূরত্বের অর্ধেক।

পেণ্ডুলাম (Pendulum) বা দোলকের গতি দেখিয়া আমরা উপরে বলা বিশেষ কথাগুলির অর্থ বুঝিবার চেষ্টা করিতে পারি। 1·1(a) চিত্রে সাম্য অবস্থায় দোলক-

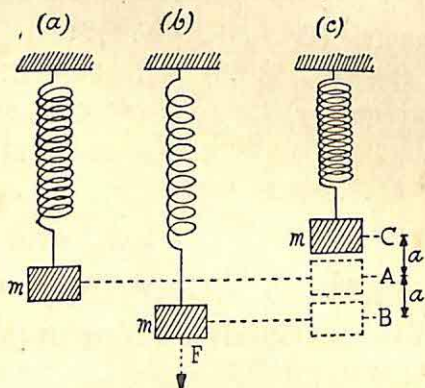
পিণ্ড (Pendulum bob) A বিন্দুতে থাকে। লম্বা একগাছা সুতায় দোলকপিণ্ড O বিন্দু হইতে ঝুলান। পিণ্ডকে অল্প একটু টানিয়া OB অবস্থানে আনিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা A হইয়া C প্রান্তে গিয়া ফিরিয়া A অতিক্রম করিয়া আবার B-তে পৌছিলে একটি দোলন পূর্ণ হইবে। ইহাতে যে সময় লাগে তাহাই দোলনকাল বা পর্যায়কাল। $AB=AC=\frac{1}{2}BC$ উহার **রৈখিক বিস্তার** (linear amplitude)। AOB কোণকে **কৌণিক বিস্তার** (angular amplitude) বলে। পর্যায়-কালের বিপরীত রাশি (reciprocal) দোলকের কম্পাংক।

চিত্র 1·1(a)

1-2. সরল দোলন (Simple harmonic motion)। সরল রেখায় যে পর্যাবৃত্ত গতির গাণিতিক আলোচনা সবচেয়ে সহজ তাহাকে সরল দোলন বলা হয়। যে কোন সরল রৈখিক পর্যাবৃত্ত গতিকে একাধিক সরল দোলনের লব্ধি (resultant) বলিয়া মনে করা যায়। পর্যাবৃত্ত গতির আলোচনায় এই কারণে সরল দোলনের আলোচনার প্রয়োজনীয়তা মৌলিক।

সরল দোলনের সংজ্ঞা ঃ সরল দোলনের দুই প্রকার সংজ্ঞা দেওয়া যায়—

(১) সমদ্রুতিতে বৃত্তপথে গতির সরল রেখার উপর অভিক্ষেপ (projection)-কে সরল দোলন বলে।

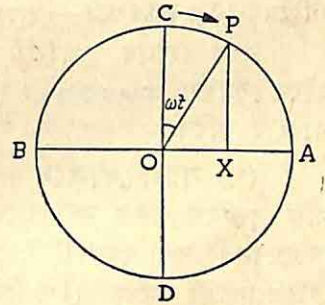
(২) কোন কণার উপর ক্রিয়াশীল বল যদি সর্বদাই উহাকে উহার সাম্য অবস্থানের দিকে ফিরাইয়া নিতে চায়, এবং এই বলের মান যদি সর্বদাই সাম্য অবস্থান হইতে কণার দূরত্বের সমানুপাতিক হয়, তাহা হইলে কণার গতিকে সরল দোলন বলে। [এরূপ বলের নাম 'প্রত্যানয়ক বল' (restoring force)।]

আপাত দৃষ্টিতে সংজ্ঞা দুইটি বিভিন্ন প্রকারের হইলেও উহারা আসলে একই গতি বুঝায়, এবং যে কোন একটি সংজ্ঞা হইতে অন্যটি প্রমাণ করা যায়। প্রথম সংজ্ঞা হইতে গতির প্রকৃতি বা বৈশিষ্ট্য সহজেই দেখা যায়, কিন্তু উহাতে গতির কারণস্বরূপ বলের উল্লেখ নাই। দ্বিতীয় সংজ্ঞায় এই বলের কথাই বলা হইয়াছে। এরূপ বল ক্রিয়া করিলে গতির বৈশিষ্ট্য প্রথম সংজ্ঞা হইতে যে রকম পাওয়া যায় সেই রকমই হইতে দেখা যাইবে। আবার প্রথম সংজ্ঞায় যে প্রকার গতির কথা বলা হইয়াছে সে রকম গতি পাইতে হইলে প্রমাণ করা যায় যে প্রযুক্ত বল দ্বিতীয় সংজ্ঞায় বর্ণিত বলের মতই হইবে। প্রথম সংজ্ঞাকে আমরা জ্যামিতিক (geometrical) বা শুদ্ধগতীয় (kinematical) সংজ্ঞা ও দ্বিতীয়টিকে ভৌত (physical) বা গতীয় (dynamical) সংজ্ঞা বলিতে পারি। প্রথম

চিত্র 1·1(b)

সংজ্ঞাটি গতির প্রকৃতির কথা বলে ; গতির কারণস্বরূপ বলের উল্লেখ ইহাতে নাই। দ্বিতীয়টি গতির কারণস্বরূপ বলের কথা উল্লেখ করে, গতির প্রকৃতি বলে না।

উদাহরণ। লম্বা সুতায় ঝুলান ভারী, ছোট দোলকপিণ্ডের অল্প বিস্তারে দোলনে যে প্রকার গতি দেখা যায় তাহা সরল দোলনের সবচেয়ে ভাল উদাহরণ। লম্বা স্প্রিং খাড়াভাবে ঝুলাইয়া উহার নিচের প্রান্তে কোন ভর আটকাইয়া ভরটি নিচের দিকে অল্প একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা খাড়া রেখায় আনাগোনা করিতে থাকে (1·1b চিত্র)। এই গতিও সরল দোলনের উদাহরণ। চিত্রে a দোলনের বিস্তার।

1-3. সরল দোলনের প্রথম সংজ্ঞা হইতে কণার সরণ (Displacement), বেগ ও ত্বরণের সমীকরণ।

(ক) সরল দোলন সমদ্রুতিতে বৃত্তপথে গতির অভিক্ষেপ। মনে কর একটি কণা সুষম কৌণিক বেগ ω লইয়া বৃত্তপথে ঘুরিতেছে। 1·2 চিত্রের P উহার যে কোন মুহূর্তের অবস্থান হইলে, P হইতে যে কোন ব্যাস AB-র উপর লম্ব টান। এই লম্বের পাদ X হইলে P যেমন বৃত্তে ঘুরিতে থাকিবে X তেমনই A এবং B বিন্দুর মধ্যে যাতায়াত করিতে থাকিবে। X-এর গতি P-র বৃত্তগতির অভিক্ষেপ এবং প্রথম সংজ্ঞা অনুসারে X-এর গতিই সরল দোলন।

চিত্র 1·2

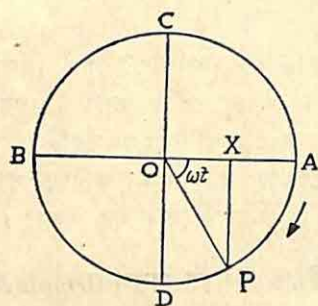
(খ) সরল দোলনে কণার স্থানচ্যুতি বা সরণ। মনে কর আদি মুহূর্তে (অর্থাৎ যখন হইতে গতি দেখা হইতে আরম্ভ হইল সেই সময়ে) কণাটি 1·2 চিত্রের C বিন্দুতে ছিল। CD AB-র অভিলম্ব ব্যাস। আলোচ্য মুহূর্তে, অর্থাৎ আরম্ভ হইতে t অবকাশ পরে, কণাটি দক্ষিণাবর্তে (clockwise) চলিয়া যেন P বিন্দুতে আসিল। P হইতে AB-র উপর অঙ্কিত লম্বের পাদ X বিন্দু। AB রেখার মধ্যবিন্দু (বৃত্তের কেন্দ্র) O হইতে X-এর দূরত্ব OX। P ঘুরিতে থাকিলে OX বাড়ে কমে। পরে দেখা যাইবে O বিন্দুই সরল দোলনে চলন্ত কণার সাম্য অবস্থান। OX $= x$-কে সরল দোলনে কণার স্থানচ্যুতি বা সরণের মান এবং OP $= a$ বৃত্তের ব্যাসার্ধ ধরিলে

$$x = \mathrm{OP} \sin \omega t = a \sin \omega t \tag{1-3.1}$$

আদি মুহূর্তে ঘুরন্ত কণা A বিন্দুতে থাকিলে, এবং সরল দোলনে কণার স্থানচ্যুতি O বিন্দু হইতেই মাপিলে, 1·3 চিত্র হইতে দেখা যায়

$$x = \mathrm{OP} \cos \omega t = a \cos \omega t \tag{1-3.2}$$

1-3.1 ও 1-3.2 সূত্রে একই রাশি (স্থানচ্যুতি) দুইরূপে প্রকাশিত হইয়াছে। ইহার কারণ আদি মুহূর্তে কণার অবস্থান। সরল দোলনে কণা যখন গতিপথের

মধ্যবিন্দু দিয়া যায় তখন হইতে গতি মাপিলে 1-3.1 সূত্র প্রযোজ্য। আরম্ভে কণা গতিপথের শেষ বিন্দুতে থাকিলে 1-3.2 প্রযোজ্য।

চিত্র 1·3

আরম্ভে ঘুরন্ত কণার অবস্থান C বিন্দু বা A বিন্দুতে না হইয়া অন্য যে কোথাও হইতে পারিত। 1·4 চিত্রে, আরম্ভে কণা E বিন্দুতে ছিল বলিয়া ধরিলে

$$\begin{aligned} x = \text{OX} &= \text{OP} \sin \text{OPX} = \text{OP} \sin \text{COP} \\ &= \text{OP} \sin (\angle\text{EOP} - \angle\text{EOC}) \\ &= a \sin (\omega t - \epsilon) \qquad (1\text{-}3.3) \end{aligned}$$

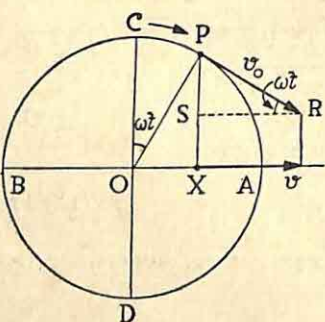
E-র কৌণিক অবস্থান OC রেখা সাপেক্ষে না ধরিয়া OA রেখা সাপেক্ষে ধরিলে সহজেই দেখা যায়, $\angle\text{EOA} = \epsilon$ হইলে,

$$x = a \cos (\omega t - \epsilon) \qquad (1\text{-}3.4)$$

1-3.1 হইতে 1-3.4 রূপগুলি দেখিতে বিভিন্ন হইলেও প্রত্যেকে একই সরল দোলন বুঝায়। প্রভেদ শুধু ঘুরন্ত কণার আদি মুহূর্তের অবস্থান, এবং এই অবস্থান কোণ OC হইতে মাপা হইতেছে কি OA হইতে। আদি মুহূর্তে কণা C বা A বিন্দু ছাড়াইয়া গিয়া থাকিলে 1-3.3 ও 1-3.4 সূত্রে $-\epsilon$ স্থানে $+\epsilon$ লইতে হইবে।

চিত্র 1·4

সরল দোলন বুঝাইতে অন্য প্রয়োজন না হইলে আমরা $x = a \sin \omega t$ (1-3.1 সমীকরণ) ব্যবহার করিব।

(গ) সরল দোলনে কণার বেগ। ধরা যাক বৃত্তপথে চলন্ত কণা সুষম দ্রুতি v_0 লইয়া ঘুরিতেছে। কণা যখন P বিন্দুতে উহার বেগ v_0 OP ব্যাসার্ধের সমকোণে (1·5 চিত্র)। P অবস্থানে BA রেখায় v_0 বেগের যে অভিক্ষেপ, তাহাই X বিন্দুস্থ কণার বেগ। PR রেখা দিয়া v_0-র মান ও দিক্ বুঝাইলে, BA-র সমান্তরালে উহার উপাংশ SR-ই নির্ণেয় বেগ v। অতএব নির্ণেয় বেগ

চিত্র 1·5

$$v = \text{SR} = \text{PR} \cos \omega t = v_0 \cos \omega t.$$

সুষম দ্রুতিতে বৃত্তপথে গতির ক্ষেত্রে জানা আছে $v_0 = a\omega$। অতএব সরল দোলনে কণার স্থানচ্যুতি বা সরণ যখন $\text{OX} = x = a \sin \omega t$ তখন উহার বেগ

$$\begin{aligned} v &= a\omega \cos \omega t \qquad (1\text{-}3.5) \\ &= a\omega \sqrt{1 - x^2/a^2} \\ &= \omega \sqrt{a^2 - x^2} \qquad (1\text{-}3.6) \end{aligned}$$

$x = 0$ অর্থাৎ গতির মধ্যবিন্দুতে বেগের মান সবচেয়ে বেশী; ইহা $a\omega$। $x = a$ অর্থাৎ প্রান্ত বিন্দুতে $v = 0$।

(গ) সরল দোলনে কণার ত্বরণ। বৃত্তপথে সুষম দ্রুতিতে ঘুরন্ত কণার ত্বরণ $a\omega^2$ এবং উহার ক্রিয়ামুখ সকল সময় বৃত্তের কেন্দ্রের অভিমুখে। BA রেখায় এই ত্বরণের অভিক্ষেপই সরল দোলনে কণার ত্বরণ। 1·6 চিত্র হইতে দেখা যাইবে P বিন্দুতে ত্বরণ PQ রেখা দিয়া নির্দেশ করিলে, BA রেখায় উহার অভিক্ষেপের মান $= RQ = PQ \sin \omega t = a\omega^2 \sin \omega t$। কিন্তু এই অভিক্ষেপ O বিন্দু অভিমুখী। আমরা OA অভিমুখকে পজিটিভ ধরিয়াছি। অতএব, X হইতে O অভিমুখী অভিক্ষেপ কে আমাদের নিগেটিভ চিহ্ন দিয়া নিতে হইবে। এই কারণে লিখিতে হয়, X বিন্দুতে কণার ত্বরণ

C P R Q B O S f X A D ωt

চিত্র 1·6

$$f = -a\omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 x, \quad (1\text{-}3.7)$$

কারণ আমরা কণার সরণ $x = a \sin \omega t$ ধরিয়াছি।

প্রশ্ন। সরল দোলনে মধ্যবিন্দু হইতে 8 cm দূরে কোন কণার বেগ 72 cm/s, এবং 18 cm দূরত্বে বেগ 24 cm/s। কণার সর্বোচ্চ সরণ ও ত্বরণ কত?

[সংকেত—1-3.6 সমীকরণে কণার সরণ ও বেগ (x ও v) বসাইয়া a এবং ω-র মান বাহির কর। a সর্বোচ্চ সরণ এবং $a\omega^2$ সর্বোচ্চ ত্বরণ। উঃ $a = 18{\cdot}9$ cm ; $a\omega^2 = 335$ cm/s^2।]

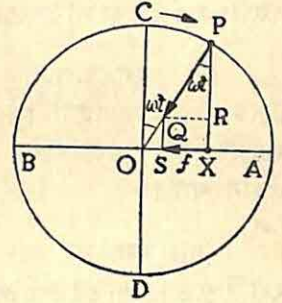
ত্বরণ স্থানচ্যুতি x-এর সমানুপাতিক। ঋণ চিহ্নে বুঝায় যে ত্বরণ ও সরণ বিপরীতমুখী, অর্থাৎ একটি ডানদিকে হইলে অন্যটি বাঁ দিকে। ইহাতে বোঝা যায় যে কণার স্থানচ্যুতি ঘটিলেই ত্বরণ উহার গতিপথের কেন্দ্র বিন্দুর (অর্থাৎ সাম্য অবস্থানের) দিকে ক্রিয়া করে। ত্বরণের সর্বোচ্চ মান $\omega^2 a$। কণা যখন তাহার গতিপথের শেষ প্রান্তে তখনই ত্বরণ সবচেয়ে বেশী। এই অবস্থানে বেগ $v = 0$।

সরল দোলনে কণার উপর ক্রিয়াশীল বল। কণার ভর m এবং উহার ত্বরণ f হইলে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে উহার উপর ক্রিয়াশীল বল

$$P = mf = -m\omega^2 x \quad (1\text{-}3.8)$$

দেখা যায়, বল সরণের সমানুপাতিক ও বিপরীতমুখী। সরণ গতিপথের মধ্যবিন্দু হইতে মাপা হইয়াছে। বল সর্বদাই এই বিন্দুর অভিমুখী, অর্থাৎ সরল দোলনে ক্রিয়াশীল বল কণাকে সর্বদাই এই নির্দিষ্ট বিন্দুতে ফিরাইয়া আনিতে প্রয়াস পায় ; ইহা 'প্রত্যানয়ক বল' (restoring force)। কোন বল ক্রিয়া না করিলে কণা এই বিন্দু হইতে সরিবে না, অর্থাৎ গতিপথের মধ্যবিন্দুই কণার সাম্য অবস্থান। এই আলোচনায় সরল দোলনের প্রথম সংজ্ঞা হইতে দ্বিতীয় সংজ্ঞায় আসা গেল।

1-4. সরল দোলনের বৈশিষ্ট্য। আগের অনুচ্ছেদে সরল দোলনের যে সব বৈশিষ্ট্য আমরা দেখিয়াছি, এখানে তাহার মৌলিক বৈশিষ্ট্যগুলি একত্রে দেওয়া হইল।

(i) সরল দোলনে গতি পর্যাবৃত্ত। (1·2 চিত্র হইতে দেখা যায় কণা যখন বৃত্তপথে ঘোরে তখন যে কোন ব্যাস AB-র উপর উহার অভিক্ষেপ AB রেখায় A

এবং B বিন্দুর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকিয়া AB পথে যাতায়াত করে।) বৃত্তে কৌণিক বেগ সুষম বলিয়া একই সময় পর পর সরল দোলনে চলন্ত কণা তাহার গতি একবার পূর্ণ করিয়া গতিপথের একই বিন্দুতে ফিরিয়া ফিরিয়া আসে।

(ii) সরল দোলনে কণার ত্বরণ এবং উহার উপর ক্রিয়াশীল বল মধ্যবিন্দু হইতে উহার সরণের সমানুপাতিক; কিন্তু ত্বরণ ও বল সরণের বিপরীতমুখী। বিপরীতমুখী হওয়ায় বল 'প্রত্যানয়ক', অর্থাৎ সর্বদাই কণাকে মধ্যবিন্দুতে ফিরাইয়া লইতে প্রয়াস পায়।

(iii) সরণ বা ত্বরণ যখন শূন্য তখন বেগ সবচেয়ে বেশী; ইহা গতিপথের মধ্যবিন্দুতে। গতির শেষ প্রান্তে বেগ শূন্য, কিন্তু ত্বরণ ও সরণ সবচেয়ে বেশী।

সরল দোলনের দুইটি উদাহরণ 1-2 বিভাগের শেষে দেওয়া হইয়াছে।

1-5. কয়েকটি সংজ্ঞা। সরল দোলনে মধ্যবিন্দু হইতে শেষ বিন্দুর দূরত্বকে দোলনের **বিস্তার** (Amplitude) বলে; ইহা সরণের সর্বোচ্চ মান। 1·2 চিত্রে OA দোলনের বিস্তার। 1-3.1 হইতে 1-3.4 সূত্রগুলিতে a এই বিস্তার বুঝায়। সরল দোলন যে বৃত্তগতির অভিক্ষেপ, বিস্তার সেই বৃত্তের ব্যাসার্ধ (1·2 চিত্র দেখ)।

কোন কণা যখন সরল দোলনে চলে, তখন উহার আনুষঙ্গিক বৃত্তগতি বিশেষ ক্ষেত্র ছাড়া থাকেই না। না থাকিলেও যে কোন সরল দোলনকে বৃত্তগতির অভিক্ষেপ মনে করায় সুবিধা হয়। এইরূপ বৃত্তকে দোলনের **সহায়ক বৃত্ত** বা 'আনুষঙ্গিক বৃত্ত' **(Auxiliary circle)** বলা যায়। ইহার ব্যাসার্ধ দোলনের বিস্তারের সমান এবং কেন্দ্র দোলনের মধ্যবিন্দুতে।

দোলন একবার সম্পূর্ণ করিতে যে সময় লাগে তাহাকে দোলনের **দোলনকাল** বা **পর্যায়কাল** বলে। গতিপথের যে কোন বিন্দু হইতে চলিয়া উভয় প্রান্তে একবার করিয়া পৌছিয়া আবার সেই বিন্দুতেই ফিরিয়া আসিতে যে সময় যায় তাহাই দোলনকাল। সহায়ক বৃত্তের সাহায্যে দেখা যায় বৃত্তপথে একপাক ঘুরিতেও ঠিক এই সময়ই লাগে। ω কৌণিক বেগ এবং T দোলনকাল হইলে উভয়ের গুণফল 2π।

$$\therefore \quad \omega T = 2\pi \text{ বা } T = 2\pi/\omega \qquad (1\text{-}5.1)$$

প্রতি সেকেণ্ডে দোলনের সংখ্যাকে দোলনের **কম্পাঙ্ক** (Frequency) বলে। কম্পাঙ্ক n হইলে

$$nT = 1 \text{ বা } n = 1/T = \omega/2\pi \qquad (1\text{-}5.2)$$

$$\text{অথবা } \omega = 2\pi n \qquad (1\text{-}5.3)$$

$\omega = 2\pi n$ হওয়ায় ω-কে **কৌণিক কম্পাঙ্ক** (Angular frequency)-ও বলে। সরল দোলনের কৌণিক কম্পাঙ্ক ও সহায়ক বৃত্তে কৌণিক বেগ অভিন্ন।

সরল দোলনে পর্যায়কাল (Periodic time in S. H. M.)। 1-3.7 সমীকরণ হইতে দেখা যায়

$$\omega^2 = \frac{f}{x} \text{ বা } \omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{f}{x}} \text{ অর্থাৎ } T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{f/x}}.$$

f/x হইল কণার সাম্য অবস্থান হইতে একক দূরত্বে ($x=1$) কণার ত্বরণ। অতএব লেখা যায়

সরল দোলনে পর্যায়কাল (বা দোলনকাল)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{\text{একক দূরত্বে ত্বরণ}}} \quad (1\text{-}5.4)$$

অনুরূপে, 1-3.8 সমীকরণ হইতে দেখা যায় $\omega^2 = P/(mx)$। P/x কণার সাম্য অবস্থান হইতে একক দূরত্বে প্রত্যানয়ক বল। অতএব,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{P/x}{m}} \text{ বা } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{P/x}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{\text{কণার ভর}}{\text{একক দূরত্বে প্রত্যানয়ক বল}}} \quad (1\text{-}5.5)$$

1-5.4 সমীকরণে বর্গমূল চিহ্নের ভিতরের অংশকে উপরে ও নিচে কণার ভর m দিয়া গুণ করিলে 1-5.5 সমীকরণ পাওয়া যায়।

দশা (Phase)। সরল দোলনে রত কোন কণার সরণ ও বেগ প্রতিনিয়ত বদলায়, এবং প্রতি দোলন সম্পূর্ণ হইলে উহা আরম্ভের সরণ ও বেগ ফিরিয়া পায়। দেখা যায়, কণার গতির অবস্থা একটা পরিবর্তনচক্রে চলে। **দশা** বা **কলা*** কথাটি দিয়া এই পরিবর্তনচক্রে কণার গতির অবস্থা বুঝায়। যে রাশির সাহায্যে কণার যে কোন মুহূর্তের সরণ ও বেগ পাওয়া যাইতে পারে, তাহাকেই দশার মান হিসাবে ধরা চলে। অতএব 1-3.1 হইতে 1-3.4 সূত্রের ωt বা $(\omega t \pm \varepsilon)$ কোণকে দশার মান ধরা হয় এবং এই কোণকে **দশাকোণ** (Phase angle) বলে। ε হইল $t=0$ মুহূর্তের দশাকোণ; উহাকে **আদি দশাকোণ** (Epoch বা Initial phase) বলা যায়। সহায়ক বৃত্তের কোন নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধ (1·2 চিত্রের OC বা OA) হইতে দশাকোণ মাপা হয়।

একই দোলনে বিভিন্ন সময়ে দশাকোণ বিভিন্ন। একই কম্পাঙ্কের দুইটি সরল দোলনের যেকোন মুহূর্তের দশাকোণ বিভিন্ন হইতে পারে। **দুই দশাকোণের** অন্তরকে **দশান্তর** (Phase difference) বলে।

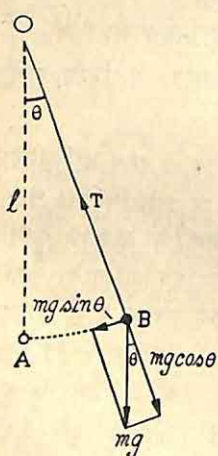
প্রশ্ন। (1) কোন সরল দোলনের বিস্তার 10 cm এবং দোলনকাল 12 s। উহার সরণ, বেগ ও ত্বরণের সমীকরণ লেখ। দোলনের শেষ প্রান্ত হইতে 14 s পরে দশা এবং সরণ কত?

[উত্তর : $x=10 \sin \pi t/6$ cm ; $v=(5\pi/3) \cos \pi t/6$ cm/s ; $f=-(5\pi^2/18) \sin \pi t/6$ cm/s^2 ; $7\pi/3$ radians ; $x=5$ cm.]

* চাঁদের 'কলা' তুলনীয়।

(2) কোন সেলাইয়ের কলের স্থচ প্রতি বারে 3 cm করিয়া মিনিটে 200 বার ওঠানামা করে। উহার গতি সরল দোলন ধরিলে (ক) গতিপথের মধ্যবিন্দু ও (খ) প্রান্তবিন্দু অতিক্রম করার 1/10 সেকেণ্ড পর সরণ কত? [উত্তর: (ক) 1·3 cm; (খ) 0·75 cm.]

1-6. সরল দোলক (The simple pendulum)। সরল বা আদর্শ (ideal) দোলক কল্পনার বস্তু। **ভরহীন, টানিলে বাড়ে না এবং বাঁকাইতে বল লাগে না এমন স্থতা দিয়া লম্বিত ভারী কণাকে সরল বা আদর্শ দোলক** (Simple or Ideal pendulum) **বলে।** সহজেই বোঝা যায় বাস্তবে এ রকম কোন দোলক পাওয়া সম্ভব নয়। হালকা, শক্ত স্থতায় ঝুলান গোল ধাতুপিণ্ড সরল দোলকের স্থুল (বা বাস্তব) সংস্করণ। দোলনের ব্যাপারে গণিতের প্রয়োগ সহজ করার জন্য সরল দোলক কল্পিত হইয়াছে। গতি আলোচনায় 'কণা', 'মসৃণ তল' প্রভৃতি যেমন সরলকারী কল্পন, দোলন আলোচনায় 'সরল দোলক'ও সেইরূপ।

সরল দোলকের দোলনকাল (Periodic time of a simple pendulum)। 1·7 চিত্রে OA l-দৈর্ঘ্যের একটি সরল দোলক বুঝায়। মনে কর উহা সাম্য অবস্থান হইতে θ-কোণে বিচ্যুত হইয়া OB-তে আসিয়াছে। উহার লম্বিত কণার (দোলকপিণ্ডের) ভর m, এবং ঐ স্থানে অভিকর্ষীয় ত্বরণ g ধরা যাক। কণার উপরে ক্রিয়াশীল খাড়া (vertical) বল উহার ভার mg। এই বলকে স্থতার রেখায় ও তাহার অভিলম্বে বিভক্ত কর। স্থতার রেখায় বিভক্তাংশ $mg\cos\theta$ স্থতার টান T দিয়া প্রতিমিত হয়। অভিলম্ব উপাংশ $mg\sin\theta$ কণাকে তাহার সাম্য অবস্থান A-র দিয়া ফিরাইয়া নেয়। ইহাই কণার উপর প্রত্যানয়ক বল।

চিত্র 1·7

θ খুব ছোট হইলে $\sin\theta$-র বদলে আমরা θ লিখিতে পারি। এরূপ ক্ষেত্রে A হইতে কণার দূরত্ব হইবে $l\theta = x$। কণা l-ব্যাসের বৃত্তের যে অতি ছোট অংশে আনাগোনা করিবে, তাহা অত্যন্ত ছোট হওয়ায় এই চাপকে সরলরেখা মনে করা যায়। A হইতে x দূরত্বে কণার উপর প্রত্যানয়ক বল হইবে $mg\sin\theta \simeq mg\theta = mgx/l$। $x=1$ ধরিলে একক দূরত্বে প্রত্যানয়ক বল mg/l।

1-5.5 স্থত্রে দেখান হইয়াছে সরল দোলনে দোলনকাল কত। অতএব

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\text{কণার ভর}}{\text{একক দূরত্বে প্রত্যানয়ক বল}}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/l}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1\text{-}6.1)$$

ইহার সাহায্যে l ও T মাপিয়া g বাহির করা যায়।

সরল দোলকের দোলনের বৈশিষ্ট্যগুলি 1-6.1 সমীকরণ হইতে সহজেই বলা যায়। এগুলিকে সাধারণত **সরল দোলকের সূত্র** (Laws of simple pendulum) বলিয়া উল্লেখ করা হয়। সূত্রগুলি নিচে বলা হইল:

প্রথম সূত্র—প্রদত্ত সরল দোলকের প্রতি দোলনে একই সময় লাগে।

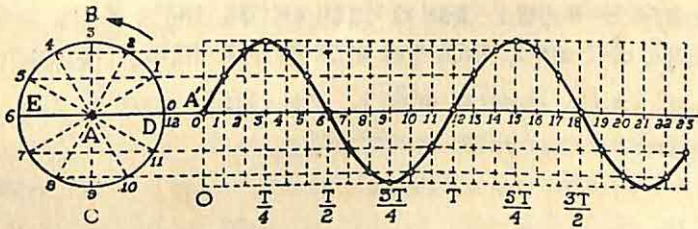
দ্বিতীয় সূত্র—নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট দোলকের দোলনকাল T উহার দৈর্ঘ্য l-এর বর্গমূলের আনুপাতিক।

তৃতীয় সূত্র—দৈর্ঘ্য একই থাকিলে বিভিন্ন স্থানে দোলকের দোলনকাল T স্থানীয় অভিকর্ষজ ত্বরণ g-র বর্গমূলের বিষমানুপাতিক।

চতুর্থ সূত্র—দোলকপিণ্ডের ভরের উপর দোলনকাল নির্ভর করে না।

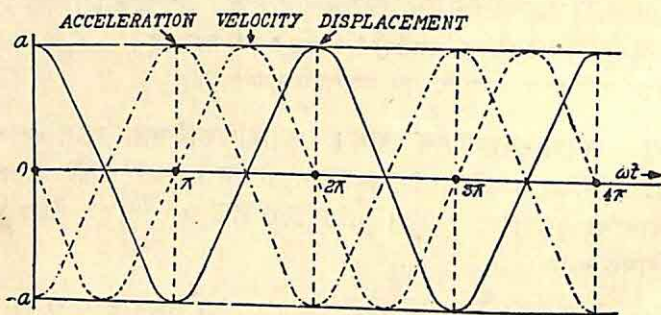
হালকা, শক্ত সুতায় ঝুলান ধাতু গোলক নিয়া উহাকেই সরল দোলকের নিকটতম প্রতিরূপ (model) মনে করিয়া উপরের সূত্রগুলি যাচাই করিতে চাহিলে মনে রাখিতে হইবে দোলনের বিস্তার (amplitude) খুব কম হওয়া দরকার। কৌণিক বিস্তার 4°-র মধ্যে রাখিলে ত্রুটি হাজার অংশে এক অংশেরও কম হয়।

1-7. সরল দোলনের লেখ। জ্যামিতিক উপায়ে সরল দোলনে সময়ের সহিত সরণের লেখ (graph) পাইতে হইলে প্রথমে সহায়ক বৃত্তটি আঁক। ইহার ব্যাসার্ধ দোলনের বিস্তারের সমান। 1·8 চিত্রে BC এই বৃত্তের উল্লম্ব ব্যাস এবং ED অনুভূমিক ব্যাস।

বৃত্তের পরিধিকে কতকগুলি সমান (এখানে 12) ভাগে ভাগ করিয়া D বিন্দুকে শূন্য ধরিয়া পর পর বিভাজক বিন্দুগুলিকে 1, 2, 3, ইত্যাদি সংখ্যায় চিহ্নিত কর। (ইহাতে 12 সংখ্যাটি আসিয়া D বিন্দুতেই পড়িবে।) ED রেখা বাড়াইয়া দাও এবং উহার যে কোন A′ বিন্দু হইতে রেখায় অনেকগুলি (12-র বেশী) সমান সমান খণ্ড দাগাইয়া যাও। A′-কে শূন্য ধরিয়া পর পর দাগগুলিকে 1, 2, 3, ইত্যাদি সংখ্যা দাও।

চিত্র 1·8

মনে কর আদিতে ($t=0$ সময়ে) সহায়ক বৃত্তে চলন্ত বিন্দুটি 0-তে ছিল এবং উহার গতি বাম আবর্তে (anticlockwise)। বৃত্তে এই বিন্দু $\omega=2\pi/T=2\pi n$ কৌণিক বেগে চলে। T সরল দোলনের পর্যায়কাল এবং n উহার কম্পাঙ্ক। ঘুরন্ত বিন্দু হইতে BC রেখায় পাতিত লম্বের পাদ ঐ রেখায় প্রদত্ত সরল দোলনে চলে।

পরিধির চিহ্নিত বিন্দুগুলি হইতে BC-র উপর লম্ব টান। যে সময়ে ঘুরন্ত কণা পরিধির চিহ্নিত কোন বিন্দু অতিক্রম করে, ঐ বিন্দু হইতে টানা লম্বের পাদ তখন সরল

দোলনে চলা কণার অবস্থান দেখায়, এবং ঐ সময়ে সরণ হয় বৃত্তের কেন্দ্র A হইতে এই লম্ব পাদের দূরত্ব। বর্ধিত ED রেখার প্রত্যেক চিহ্নিত বিন্দুতে একটি লম্ব টান। পরিধির প্রত্যেক চিহ্নিত বিন্দু হইতে ED-র সমান্তরালে রেখা টানিয়া এই লম্বগুলিকে ছেদ কর। বর্ধিত ED রেখার এবং পরিধির যে সকল চিহ্নিত বিন্দুগুলির সংখ্যা একই, সেই বিন্দুগুলি হইতে নূতন টানা রেখাগুলির ছেদবিন্দু পর পর দাগাইয়া যাও। এই বিন্দুগুলির মধ্য দিয়া একটি অভঙ্গ, মসৃণ লেখ টান। ইহাই প্রদত্ত সরল দোলনের সময়-সরণ লেখ। ইহার ভুজ (abscissa) সময় এবং কোটি (ordinate) সরণ। এই রেখা **সাইন-বক্র** (sine curve)।

চিত্র 1·9

1·9 চিত্রে সরল দোলনের সরণ, বেগ ও ত্বরণের লেখ একসঙ্গে দেখান হইয়াছে। সুবিধার জন্য উহাদের বিস্তার সমান করিয়া আঁকা হইয়াছে। চিত্র হইতে দেখা যাইবে বেগের লেখ সরণের লেখ হইতে 90° আগাইয়া থাকে। ত্বরণের লেখ 180° পিছাইয়া থাকে। **সরণ ও বেগে দশান্তর 90° ; ইহাতে বুঝায় একটির মান যখন চরম অন্যটির মান তখন শূন্য। ত্বরণ ও সরণে দশান্তর 180° ; ইহার অর্থ উহারা বিপরীতমুখী এবং একই সময়ে শূন্য মানে বা চরম মানে পৌঁছায়।**

1-8. সরল দোলনে শক্তি। সরল দোলনে কণার মধ্যবিন্দু অতিক্রম করার মুহূর্ত হইতে সময় মাপিলে লেখা যায়

$$x = a \sin \omega t \text{।}$$

অতএব উহার বেগ $v = a\omega \cos \omega t$,

এবং গতিশক্তি $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(a\omega \cos \omega t)^2 = \frac{1}{2}ma^2\omega^2\cos^2\omega t$

$$= \frac{1}{2}m\omega^2(a^2 - x^2) \text{।} \qquad (1\text{-}8.1)$$

মধ্যবিন্দু অতিক্রম করার সময় ইহার মান সর্বোচ্চ, অর্থাৎ $\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ হয়। গতি শেষ প্রান্তে $v = 0$ বলিয়া এখানে $K = 0$।

কণার স্থিতিশক্তিও আছে। উহার সরণ যখন x, তখন উহার উপর ক্রিয়াশীল বল $= m\omega^2 x = kx$। এই বলের বিরুদ্ধে কণা অল্প একটু পথ x' সরিয়া গেলে এই

সময়ে কণার উপরে করা কার্য $= kxx'$। মধ্যবিন্দুতে কণার কোন স্থিতিশক্তি নাই, কারণ উহা কণার সাম্য অবস্থান। $x=0$ হইতে সরণ x-এ আসিতে মোট যে কার্য হয় তাহা সরণ 0 হইতে x পর্যন্ত kxx' রাশিগুলির যোগফল। প্রমাণ করা যায় যে এই যোগফলের মান, অর্থাৎ

কণার স্থিতিশক্তি $V = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m\omega^2x^2 = \frac{1}{2}m\omega^2a^2\sin^2\omega t$ (1-8. 2)

ইহার সর্বোচ্চ মান $\frac{1}{2}m\omega^2a^2$ গতির শেষ সীমায় হয়।

স্বতরাং মোট শক্তি $E = K + V = \frac{1}{2}ma^2\omega^2\cos^2\omega t + \frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t$
$= \frac{1}{2}ma^2\omega^2$। (1-8.3)

দেখা যায়, যে কোন মুহূর্তে কণার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল ধ্রুব এবং উহার মান চরম গতিশক্তি বা চরম স্থিতিশক্তির সমান। **মধ্যবিন্দুতে শক্তি সম্পূর্ণ গতীয়; স্থিতিশক্তি শূন্য। শেষ প্রান্তে শক্তি সম্পূর্ণ স্থিতীয়; গতিশক্তি শূন্য। অন্যত্র শক্তি আংশিক গতীয়, আংশিক স্থিতীয়।** মধ্যবিন্দু হইতে প্রান্তের দিকে যাইবার সময় গতিশক্তি কমিয়া স্থিতিশক্তি বাড়িতে থাকে, এবং প্রান্ত হইতে মধ্যবিন্দুর দিকে আসিতে স্থিতিশক্তি কমিয়া গতিশক্তি বাড়িতে থাকে। এই গতি যান্ত্রিক শক্তির নিত্যতার একটি উদাহরণ।

প্রশ্ন। (1) 10 g ভরের কোন কণা সরল দোলনে চলিতেছে। দোলনের বিস্তার 24 cm এবং দোলন কাল 4 s। $t=0$ সময়ে উহার সরণ 24 cm।

(ক) $t=0{\cdot}5$ s হইলে কণার সরণ কত?

(খ) ঐ সময়ে কণার উপর ক্রিয়াশীল বল কত এবং কোন্ দিকে?

(গ) ঐ সময়ে কণার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি কত?

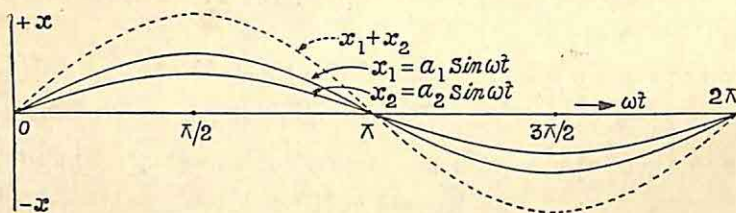
[উত্তর: (ক) $x=12\sqrt{2}$ cm; (খ) $P=30\sqrt{2}\,\pi^2$ dyn, মধ্যবিন্দুর দিকে; (গ) $360\pi^2$ dyn]

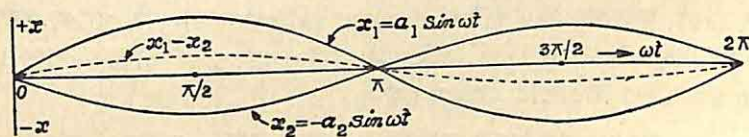
(2) কোন সরল দোলনের বিস্তার 8 cm এবং কণার ভর 15 g। মধ্যবিন্দু হইতে 4 cm দূরে কণার উপর বল 10 g-wt। (ক) দোলনকাল এবং (খ) চরম গতিশক্তি কত?

($g=980$ cm/s^2) [উত্তর: (ক) $T=0{\cdot}49$ s; (খ) $7{\cdot}89\times10^4$ erg]

1-9. একই দিকে দুইটি সরল দোলনের উপরিপাত (Superposition of two S. H. M.s in the same direction)। যে কোন সরল দোলন একটি সাইন-বক্র (sine curve; 1·8 চিত্র) দিয়া প্রকাশ করা যায়। ইহা করিবার উপায় 1-7 বিভাগে ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। একই রেখায়, একই সময়ে একই কণার যদি একসঙ্গে দুইটি সরল দোলন থাকে, তবে গতির লব্ধি (resultant) কিভাবে পাইব? চিত্র বা গণিত যে কোনটির সাহায্যে ইহা করা যায়।

চিত্রের সাহায্যে ইহা করিতে হইলে যে সময়ে উভয় দোলনের দশা (phase) এক, সেই সময় হইতে দোলন দুটির আলাদা আলাদা বক্র টান। নির্দিষ্ট কোন মুহূর্তে দুই দোলনের সরণের বীজগণিতীয় যোগফল যৌথ দোলনের সরণ। উভয় দোলনের দোলনকাল সমান না হইলে যৌথগতি কোন সরল বর্ণনার বক্র হইবে না। সুবিধার

জন্য আমরা উভয় দোলনের দোলনকাল একই ধরিয়া দুইক্ষেত্রে দুইটি দোলনের লব্ধি 1·10 ও 1·11 চিত্রে দেখাইলাম। 1·10 চিত্রে উভয় দোলন সমদশায় (in phase),

চিত্র 1·10

এবং 1·11 চিত্রে উহারা বিপরীত দশায়। চিত্রে দশাকোণ ωt-র অক্ষ অনুভূমিক এবং সরণের (x-এর) অক্ষ খাড়া।

চিত্র 1·11

এরূপ বিশেষ ক্ষেত্রে দুটি সরল দোলনের যোগফল গণিতের সাহায্যে খুব সহজে পাওয়া যায়। দোলনকাল সমান বলিয়া উভয়ের কৌণিক কম্পাংক ω একই হইবে; কিন্তু বিস্তার আলাদা হইতে পারে। অতএব সমদশায় একটি দোলন $x_1 = a_1 \sin \omega t$ ও অন্যটি $x_2 = a_2 \sin \omega t$ দিয়া বুঝাইতে পারি। উহাদের যোগফল

$$x = x_1 + x_2 = a_1 \sin \omega t + a_2 \sin \omega t = (a_1 + a_2) \sin \omega t\,।$$

ইহা $a_1 + a_2$ বিস্তারের এবং একই দোলনকালের একটি সরল দোলন।

বিপরীত দশা হইলে একটিকে $x_1 = a_1 \sin \omega t$ ও অন্যটিকে $x_2 = a_2 \sin(\omega t - 180°) = -a_2 \sin \omega t$ লেখা যায়। অতএব উহাদের যোগফল

$$x = x_1 + x_2 = a_1 \sin \omega t - a_2 \sin \omega t = (a_1 - a_2) \sin \omega t\,।$$

ইহা $a_1 - a_2$ বিস্তারের একই কম্পাংকের সরল দোলন।

1-10. মুক্তকম্পন বা স্বভাবকম্পন (Free vibration)। কোন দোলককে উহার সাম্য অবস্থান হইতে একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা দুলিতে থাকিবে। উহার দোলনকাল ও কম্পাংক উহার নিজস্ব বৈশিষ্ট্য; এই সংখ্যা দুইটির মান দোলকের দৈর্ঘ্য l এবং স্থানীয় g অর্থাৎ অভিকর্ষীয় ত্বরণের উপর নির্ভর করে। প্রত্যেক দোলকই নিজের বিশিষ্ট পর্যায়কাল ও কম্পাংক লইয়া দোলে।

কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুকে আঘাত করিলে উহাও নিজস্ব বিশিষ্ট পর্যায়কাল ও কম্পাংক লইয়া কাঁপে। এই রাশি দুইটি বস্তুটির আকার, আয়তন, স্থিতিস্থাপকতা

প্রভৃতি ধর্মের উপর নির্ভর করে। এক টুকরা স্টীলের পাতের একপ্রান্ত শক্ত করিয়া আঁটিয়া অন্যপ্রান্ত উহার দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে পাত দ্রুত কাঁপিতে থাকিবে। কম্পাংক উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ ও স্টীলের স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভর করিবে। কোন ধাতব থালা, গেলাস বা বাটির বিভিন্ন জায়গায় আঘাত করিলে শব্দ সাধারণত একটু বিভিন্ন হয় ; কিন্তু একই জায়গায় আঘাত করিয়া একই শব্দ পাওয়া যায়।

এই ধরনের নানা উদাহরণ হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি—

(১) কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুকে আঘাত করিলে উহা নির্দিষ্ট পর্যায়কাল ও কম্পাংক লইয়া কাঁপিতে থাকে।

(২) একই বস্তু একাধিক কম্পাংকে কাঁপিতে পারে।

এই সকল কম্পনকে **মুক্তকম্পন** বা **স্বভাবকম্পন** (Free vibration), এবং উহার কম্পাংককে **স্বভাবী কম্পাংক** (Natural frequency) ও পর্যায়কালকে **স্বভাবী পর্যায়কাল** (Natural period) বলে। স্বভাবকম্পন বস্তুটির দৈর্ঘ্য বরাবর হইলে উহাকে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal vibration) ও দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি হইলে উহাকে **অনুপ্রস্থ কম্পন** (Transverse vibration) বলে।

সকল স্বভাবকম্পনই ক্রমে থামিয়া যায়। ইহা বাহ্য বা অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণজাত বলের ক্রিয়ায় হয়। কিন্তু এই বল আমরা আলোচনায় আনিব না।

1-11. পরবশ বা প্রণোদিত কম্পন (Forced vibration) ও অনুনাদ (Resonance)। কম্পনক্ষম কোন বস্তুর উপর একটি প্রত্যাবর্তী (Alternating) বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটি প্রথমে নিজ স্বভাবকম্পন অনুযায়ী কাঁপিতে চায়। কিন্তু অল্পক্ষণের মধ্যেই উহার স্বভাবকম্পন বন্ধ হইয়া উহা প্রত্যাবর্তী বলের কম্পাংক লইয়া কাঁপিতে থাকে। প্রত্যাবর্তী বল যতক্ষণ ক্রিয়া করে বস্তুটির কম্পনও ততক্ষণ বলের কম্পাংক লইয়া চলিতে থাকে। এরূপ কম্পনে বস্তুটির কম্পনের বিস্তার বেশী হয় না। এরূপ কম্পনকে **পরবশ কম্পন** বা **প্রণোদিত কম্পন** (Forced vibration) বলে।

পরবশ কম্পনের একটি সহজ পরীক্ষা দেখাইতে আমরা একটি ভারী টিউনিং ফর্ক (Tuning fork) নিয়া উহা কাঁপাইয়া উহার হাতল টেবিলের উপর চাপিয়া ধরিতে পারি। ফর্কের কম্পনে উহার হাতল নিয়মিতভাবে ওঠানামা করে। টেবিলে চাপিয়া ধরায় টেবিলের তক্তার উপর ইহাতে একটি প্রত্যাবর্তী বল প্রযুক্ত হয়। ফলে তক্তাখানা পরবশ কম্পনে কাঁপে। এই কম্পনের কম্পাংক ফর্কের কম্পাংক ; তক্তার কোন স্বভাবী কম্পাংক নয়।

[ফর্ক হইতে শব্দ যত জোরে শোনা গিয়াছিল, টেবিলে ফর্কের হাতল চাপিয়া ধরায় শব্দ তাহার চেয়ে জোরে শোনা যায়। টেবিল ফর্কের চেয়ে বেশী বায়ু কাঁপায় বলিয়া শব্দ ফর্কের চেয়ে বেশী জোরাল হয়। তক্তা কম্পনের শক্তি পায় ফর্কের নিকট হইতে। ফর্কের শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট বলিয়া উহা যখন পরবশ কম্পন ঘটায় তখন উহার শক্তি দ্রুততর হারে ব্যয় হয় বলিয়া শব্দ তাড়াতাড়ি থামিয়া যায়।]

1-11.1. অনুনাদ (Resonance)। পরবশ কম্পনে প্রত্যাবর্তী বলের কম্পাংক কম্পনক্ষম বস্তুটির কোন স্বভাবকম্পনের কম্পাংকের সমান হইলে বস্তুটি ঐ কম্পাংক লইয়া জোরে (বেশী বিস্তারে) কাঁপিতে থাকে। ইহাকে **অনুনাদ** (Resonance) বলে। অনুনাদ পরবশ কম্পনের একটি বিশেষ রূপ; ইহাতে প্রযুক্ত প্রত্যাবর্তী বলের কম্পাংক কম্পমান বস্তুটির স্বভাবকম্পনের কোন কম্পাংকের সমান হইতে হইবে। অনুনাদে প্রত্যাবর্তী বলের শক্তিব্যয়ের হার সব চেয়ে বেশী হয়, এবং কম্পনের বিস্তারও পরবশ কম্পনের তুলনায় অনেক বেশী হয়।

পরবশ কম্পন ও অনুনাদের অজস্র উদাহরণ দেওয়া যায়। একটি পরীক্ষা বেশ সহজেই করা যায়। একখানা কাঠের লাঠি বা পাতলা ছড় (rod) হইতে বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের দোলক ঝুলাইয়া দাও (1·12 চিত্র)। উহাদের দুটি (A, A′) যেন একই দৈর্ঘ্যের থাকে। A দোলক দোলাইয়া দিলে উহার দোলনের ফলে একটি প্রত্যাবর্তী বল লাঠি বা ছড় বাহিয়া অন্য দোলকগুলিতে সঞ্চালিত হইবে। B, C, D দোলকের দৈর্ঘ্য আলাদা হওয়ায় উহাদের কম্পাংক ও A-র কম্পাংক আলাদা হইবে। কিন্তু A ও A′-এর দৈর্ঘ্য একই হওয়ায় উহাদের কম্পাংক সমান হইবে। এক্ষেত্রে দেখা যাইবে A-কে দোলাইবার ফলে B, C, D শেষ পর্যন্ত A-র কম্পাংক লইয়া অল্প বিস্তারে দুলিতেছে; কিন্তু A′-এর বিস্তার অনুনাদের ফলে দ্রুত বাড়িয়া গিয়াছে। A-র সঙ্গে B, C, D-র সম্পর্ক পরবশ কম্পনের, কিন্তু A′-এর সম্পর্ক অনুনাদের।

চিত্র 1·12

তারের কম্পনে ও তারের বাদ্যযন্ত্রের ক্রিয়ায় এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পনে অনুনাদের অনেক উদাহরণ আছে। যথাসময়ে সেগুলি লক্ষ্য করিও।

1-12. অবমন্দিত কম্পন (Damped oscillation)। কোন বস্তু দোলাইয়া বা কাঁপাইয়া দিলে উহার দোলন বা কম্পনের বিস্তার ক্রমশ কমিয়া আসে এবং শেষ পর্যন্ত দোলন বা কম্পন থামিয়া যায়। ইহা আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতায় বহু দেখিতে পাই। দোলান দোলক, কাঁপান তার ইত্যাদি সবই ক্রমে থামিয়া আসে। থামিবার কারণ প্রধানত বায়ুর বাধা। বায়ুশূন্য পাত্রে রাখিয়া দোলাইলে দোলনের কম্পন বহুক্ষণ ধরিয়া চলে। কিন্তু তাহা সত্ত্বেও উহা থামে। ইহার এক কারণ পাত্র সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য হয় না। দ্বিতীয় কারণ দোলনসূত্রের বা কম্পিত বস্তুর অভ্যন্তরীণ বাধা। এক টুকরা লোহার পাতের একপ্রান্ত শক্ত করিয়া আঁটিয়া অন্য প্রান্ত একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে পাতটি কাঁপিতে থাকে। কাঁপিবার সময় পাতের আড়াআড়ি বিভিন্ন স্তরে খুব অল্প হইলেও একটু আপেক্ষিক সরণ হয়। ইহাতে দুই স্তরের ভিতরে স্পার্শক বল ক্রিয়া করিয়া দুই স্তরের আপেক্ষিক গতি থামাইতে চায়। ইহাই অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ। বায়ুর বাধা ত আছেই। সব দোলন বা কম্পনই স্বাভাবিক অবস্থায় হইতে থাকিলে উহার বিস্তার ক্রমশ কমে। এরূপ দোলন বা কম্পনকে **অবমন্দিত** (damped) বলে।

দোলনের শক্তি (energy) অন্য কোন বস্তুতে সংক্রমিত হইলে দোলনের বিস্তার কমিবেই। শক্তি দ্রুত হারে স্থানান্তরিত বা রূপান্তরিত হইলে বিস্তারও দ্রুত কমিবে।

পরবশ কম্পন ঘটাইয়া বিস্তার সমান রাখা যায়। এক্ষেত্রে মূল কম্পিত বস্তু (driven body) বাহিরের যে কম্পনের বশে থাকে তাহা (driver) হইতে প্রতি দোলনে নষ্ট শক্তির সমপরিমাণ শক্তি পায়।

অনুশীলনী

1. পর্যাবৃত্ত গতি, পর্যায়কাল, কম্পাংক ও কম্পনের বিস্তার কথাগুলির অর্থ বুঝাইয়া বল। পর্যাবৃত্ত গতির দুইটি উদাহরণ দাও।

2. সরল দোলনের দুইটি সংজ্ঞা দাও। এরূপ দোলনের বৈশিষ্ট্যগুলি কি কি?

3. সরল দোলনের সংজ্ঞা হইতে কণার (ক) সরণ, (খ) বেগ ও (গ) ত্বরণের ব্যঞ্জক (expression) নির্ণয় কর।

4. সরল দোলনের দোলনকাল, কম্পাংক, কৌণিক কম্পাংক ও বিস্তার কথাগুলির অর্থ একটি সরল দোলকের উদাহরণ লইয়া বুঝাও।

দোলনকাল, কম্পাংক ও কৌণিক কম্পাংকে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

5. সরল দোলনে 'সহায়ক বৃত্ত' কাহাকে বলে? উহার সঙ্গে সরল দোলনের সম্পর্ক কি?

6. সরল দোলনে কম্পনের 'দশা' (phase) বলিতে কি বুঝায়? দশাকোণ ও দশান্তর কাহাদের বলে?

7. সরল দোলনে শক্তির মান কণার ভর, বিস্তার ও কম্পাংকের উপর কিভাবে নির্ভর করে? কণার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির কোন্‌টি কোথায় চরম? কণার সরণ কত হইলে গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি সেখানে সমান হয়? [উঃ সরণ = বিস্তার / $\sqrt{2}$]

8. স্বভাবকম্পন ও পরবশ কম্পন কাহাদের বলে? উদাহরণের সাহায্যে উহাদের প্রভেদ বুঝাও। অবমন্দিত কম্পন উদাহরণের সাহায্যে বুঝাও।

9. পরবশ কম্পন ও অনুনাদ কাহাদের বলে? উদাহরণের সাহায্যে উহাদের প্রভেদ বুঝাও।

10. একটি পেঁচান স্প্রিং-এর সাহায্যে m ভরের একটি বস্তু খাড়াভাবে ঝুলান আছে। বস্তুটি নিচের দিকে x পরিমাণ টানিলে উহার উপর kx প্রত্যানয়ক বল ক্রিয়া করে। বস্তুটি একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার গতি কি প্রকারের হইবে? দোলনের কম্পাংক বাহির কর। [সংকেত—1-8 বিভাগে k-র অর্থ দেখ। $k = m\omega^2 = m(2\pi n)^2$]

11. প্রমাণ কর যে, সরল দোলনে কণা মধ্যবিন্দু হইতে বিস্তারের $\sqrt{3}/2$ গুণ দূরত্বে থাকিলে উহার বেগ চরম বেগের অর্ধেক হইবে।

12. সরল দোলনে দশা ও দশান্তর কথা দুটির অর্থ বুঝাও। দুটি কণা একই কম্পাংকের সরল দোলনে দুলিতেছে। একটি যখন দোলনের মধ্যবিন্দুতে, অন্যটি তখন দোলনের এক প্রান্তে। প্রমাণ কর যে কণা দুটির দশান্তর $\pi/2$ অথবা $3\pi/2$।

13. সরল দোলক কাহাকে বলে? সরল দোলকের পর্যায়কাল হিসাব কর। সরল দোলকের দোলনের সূত্র বলিতে কি বুঝায়?

14. চিত্রে সরল দোলগতি কিভাবে দেখাইবে?

২ ‖ তরঙ্গ (Waves)

2-1. তরঙ্গ (Waves)। তরঙ্গ কাহাকে বলে তাহার সংজ্ঞা প্রথমেই দেওয়া শক্ত। তরঙ্গগতির জন্য প্রথম দরকার কোন বিস্তৃত মাধ্যম (extended medium)। মাধ্যম কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় যে কোন পদার্থের হইতে পারে। পদার্থহীন শূন্যস্থানেও বিশেষ ধরনের (বিদ্যুৎ-চুম্বকীয়) তরঙ্গগতি হইতে পারে ; রেডিওতরঙ্গ, আলোকতরঙ্গ ইহার উদাহরণ। কিন্তু শূন্যস্থানে তরঙ্গের আলোচনা আমরা এখানে করিব না। আমাদের প্রথম আলোচ্য হইবে বিস্তৃত পদার্থে তরঙ্গগতি। এরূপ মাধ্যমকে 'বাস্তব মাধ্যম' (Material medium) বলা হইবে।

বিস্তৃত বাস্তব মাধ্যমে কোথাও কম্পন সৃষ্টি করিলে মাধ্যমের ধর্ম বুঝিয়া কম্পন মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়ে। ইহাই তরঙ্গগতি। মাধ্যমের সর্বত্র দুইটি ধর্ম—(১) স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) ও (২) জাড্য (Inertia)—থাকার জন্য কম্পনের প্রসারণ হইলে সে তরঙ্গকে **স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ** (Elastic waves) বলে। সুবিধার জন্য বাস্তব মাধ্যমকে অবিচ্ছিন্ন (continuous) মনে করা হয়, এমন কি গ্যাসীয় মাধ্যমকেও। মাধ্যমের কোন অংশ বিচলিত হইলে স্থিতিস্থাপকতার জন্য উহা পাশের অংশের উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে বিচলিত করে। পাশের অংশ বিচলিত অংশের উপর প্রতিক্রিয়ার বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে স্বস্থানে ফিরাইয়া আনিতে চায়। জাড্যের জন্য প্রথম বিচলিত অংশ ফিরিয়া স্বস্থানে না থাকিয়া সাম্য অবস্থানের দুপাশে আনাগোনা করে। এইরূপ ক্রিয়া অংশ পরম্পরা মাধ্যমে সকল দিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই জাতীয় গতিই **তরঙ্গগতি।**

2-2. সচল তরঙ্গের কয়েকটি বৈশিষ্ট্য (Some characteristic features of propagating waves)। তরঙ্গগতির মূল বৈশিষ্ট্যগুলি বুঝিতে জলে ঢেউয়ের কথা ধরা যাক। পুকুরের স্থিরজলে একটি ঢিল ফেলিলে, ঢিলটি যেখানে পড়ে সেখানে জল কয়েকবার ওঠানামা করিয়া থামিয়া যায়, এবং কয়েকটি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের আকারে এই ওঠানামার গতি জলের পিঠে ছড়াইয়া পড়ে। জলের উপর শুকনা পাতার টুকরা বা সোলা ভাসিতে থাকিলে দেখা যাইবে বৃত্তাকার ঢেউগুলির ক্রিয়ায় উহা ওঠানামা করিতেছে, জায়গা ছাড়িয়া ঢেউয়ের সঙ্গে আগাইয়া যাইতেছে না। তরঙ্গ-গতির ইহা একটি বৈশিষ্ট্য—**মাধ্যমের কোন অংশ তরঙ্গের সঙ্গে আগাইয়া যায় না।** একথা শুনিলেই প্রশ্ন জাগে 'তাহা হইলে তরঙ্গগতিতে কি আগায়' ? ইহার উত্তর হইল 'বিচলনের অবস্থা'। আলোড়নের কেন্দ্র হইতে ব্যাসার্ধ বরাবর তরঙ্গ আগায়। এক্ষেত্রে তরঙ্গের অগ্রগতির দিক্ (Direction of wave propagation) হইল আলোড়নের কেন্দ্র হইতে ব্যাসার্ধ বরাবর। তরঙ্গের পথে জলের পিঠের কণাগুলি (কণা বলিতে খুব স্বল্প আয়তন জল বুঝিবে) একের পর একটি করিয়া বিচলিত হইতে থাকে। আলোড়নের কেন্দ্র হইতে দূরস্থ কোন কণা তাহার আগের দিকের

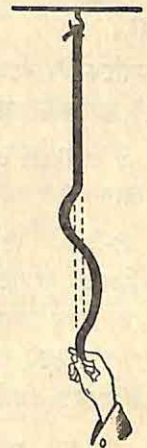
কণাগুলির গতি কিছুক্ষণ পরে পায়, অর্থাৎ **কণার গতির অবস্থা আগায়।** কোন এক স্থানের কণা আন্দোলিত হইতে থাকে ; স্থান ত্যাগ করিয়া তরঙ্গের সঙ্গে আগাইয়া যায় না। অন্যান্য বৈশিষ্ট্য পরবর্তী অংশগুলি হইতে বুঝিতে পারিবে।

ঢিল একবার না ফেলিয়া জলের পিঠে একই জায়গায় নির্দিষ্ট সময় পর পর সুতায় বাঁধা ঢিল ডুবাইলে ও উঠাইতে থাকিলে ঢেউয়ের পর ঢেউ জলের পিঠে আগাইয়া যাইতে থাকিবে। ঢেউয়ের মাথাকে 'তরঙ্গশীর্ষ' (Wave crest) ও দুই মাথার মধ্যের গর্তকে 'তরঙ্গপাদ' (Wave trough) বলে। পর পর দুই শীর্ষের দূরত্বকে বলে **তরঙ্গদৈর্ঘ্য** (Wave length)।

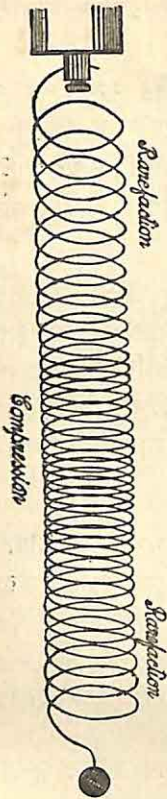
পুকুরের জলের পিঠের ঢেউয়ের সাহায্যে তরঙ্গ সম্বন্ধে কিছু ধারণা এবং তরঙ্গ সম্পর্কিত কয়েকটি কথার সঙ্গে (মোটা হরফে ছাপা কথাগুলি) পরিচয় ঘটান যায় বটে, কিন্তু এ তরঙ্গ আসলে বেশ জটিল প্রকৃতির। কথা কয়েকটির সঙ্গে পরিচয় ঘটার পর আমরা তরঙ্গগতিকে যথাসম্ভব সরল করিয়া বুঝিতে চেষ্টা করিব। এ জন্য তরঙ্গ কেবল একদিকে আগাইতেছে মনে করা হইবে। এরূপ দুইটি উদাহরণ আমরা আলোচনা করিব ; উহারা আংশিক বাস্তব ও আংশিক কল্পিত।

2-2.1. অনুপ্রস্থ তরঙ্গ (Transverse waves)। তরঙ্গগতিতে মাধ্যমে কণার বিচলন তরঙ্গ আগাইবার দিকের সমকোণে হইলে সেরূপ তরঙ্গকে 'অনুপ্রস্থ তরঙ্গ' বলে।

জলের ঢেউয়ে জলকণার বিচলন তরঙ্গ আগাইবার পথের সমকোণে মনে হয়, কিন্তু আসলে জল-কণার গতি হয় বৃত্ত বা উপবৃত্ত পথে। তরঙ্গ আগাইবার পথের সমকোণে এবং আগাইবার দিকে—দুদিকেই কণার গতির উপাংশ থাকে। কাজেই জলের ঢেউ ঠিক অনুপ্রস্থ তরঙ্গ নয়।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গের উদাহরণ পাইতে আমরা মাধ্যম হিসাবে উপর হইতে ঝুলান ভারী একগাছা দড়ি লইব (2·1 চিত্র)। উহার নিচের প্রান্তকে দড়ির আড়াআড়ি নিয়মিতভাবে ঝাঁকাইয়া চলিলে দেখা যাইবে একটা সর্পিলগতি দড়ি বাহিয়া উপরে উঠিয়া যাইতেছে। ইহাই দড়িতে তরঙ্গগতি। দড়ির কোন কণার বিচলন তরঙ্গগতির (অর্থাৎ স্থির দড়ির দিকের) সমকোণে। দড়ির স্থির অবস্থানের ডানদিকের এক অংশ এবং তাহার পাশের বাঁদিকের অংশ লইয়া একটি পূর্ণ তরঙ্গ। এই অংশের দৈর্ঘ্যই তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ, 2·1 চিত্র)। টান করা তারেও এরকম গতি পাওয়া যায়।

চিত্র 2·1

2-2.2. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal or Compressional waves)। যে তরঙ্গে মাধ্যমের কণার বিচলন তরঙ্গগতির অভিমুখে, সেরূপ তরঙ্গকে 'অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ' বলে। ইহার প্রকৃতি বুঝিতে উপর হইতে ঝুলান ইস্পাতের পেঁচান একটি লম্বা স্প্রিং নেওয়া যায় (2·2 চিত্র)। ইহার নিচের প্রান্তকে স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর একটু ওঠানামা করাইয়া চল। দেখিবে স্প্রিং-এর

পাকগুলি কোথাও বেশী কাছাকাছি আসিতেছে এবং তাহার নিচের খানিকটা অংশে পাকগুলির মধ্যে ফাঁক বেশী হইতেছে। তা ছাড়া, পাকগুলির এই 'চাপা' ও 'ঢিলা' অবস্থা স্প্রিং বরাবর উপরের দিকে উঠিয়া যাইতেছে। স্প্রিং-এর কোন একটি পাকের উপর নজর রাখিলে দেখিবে উহা স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর ওঠানামা করিতেছে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে মাধ্যমের কণাগুলির গতি এইরকম। তরঙ্গ-গতির রেখায় উহারা রেখা বরাবর নিজের স্থির অবস্থানের দুপাশে আনাগোনা করে। শব্দতরঙ্গে গতি এই প্রকার। মাধ্যমের 'চাপা' বা 'চাপ খাওয়া' অংশকে 'কম্‌প্রেশন্' (Compression) বা 'ঘনীভূত অংশ' এবং 'ঢিলা' বা 'ফাঁক হওয়া' অংশকে 'রেয়ারিফ্যাক্‌সন্' (Rarefaction) বা 'লঘুভূত অংশ' বলে। ঘনীভূত অংশে মাধ্যমের কণাগুলি স্বাভাবিকের চেয়ে কাছে থাকে; লঘুভূত অংশে থাকে স্বাভাবিকের চেয়ে দূরে। ঘনীভূত অংশে কণাগুলির গতি তরঙ্গগতির অভিমুখে; লঘুভূত অংশে কণাগুলির গতি ইহার বিপরীতে।

চিত্র 2·2

2-2.3. তরঙ্গের প্রকৃতি মাধ্যমের উপর নির্ভর করে। অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কেবল কঠিন মাধ্যমেই চলিতে পারে; অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়—তিন প্রকার মাধ্যমেই চলিতে পারে। ইহার কারণ সহজেই বোঝা যায়। অনুপ্রস্থ তরঙ্গে কণাগুলি পরস্পরের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ না থাকিলে, একটি কণা তরঙ্গগতির আড়াআড়ি সরিলে পাশের কণাটিকে টানিয়া সরাইতে পারিবে না। তরল বা গ্যাসে কণাগুলির মধ্যে এরকম বল ক্রিয়া করে না। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে এক কণার অপর এক কণাকে টানিতে হয় না; একে অন্যকে তরঙ্গগতির রেখা বরাবর ঠেলিয়া দেয় মাত্র। কাজেই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ তিন প্রকার মাধ্যমেই যাইতে পারে।

জলের পিঠের ঢেউয়ে ওঠানামা 'অভিকর্ষ' (gravity) ও 'পৃষ্ঠটান' (surface tension)-এর জন্য হয়। উহা অন্যরকম তরঙ্গ—অনুদৈর্ঘ্যও নয় অনুপ্রস্থও নয়। এরূপ তরঙ্গ আমাদের আলোচনার বাহিরে।

2-2.4. তরঙ্গ শক্তি সঞ্চালন করে (Waves transmit energy)। তরঙ্গগতিতে মাধ্যমে কণার যে বিচলন হয় তাহার শক্তি আসে কোথা হইতে? মাধ্যমের কোন অংশে আলোড়ন ঘটাইলে তবেই তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। যে আলোড়ন ঘটায়, আলোড়নে প্রদত্ত তাহার শক্তিই মাধ্যমে তরঙ্গের সঙ্গে আগাইয়া যায়। তরঙ্গ শক্তিসঞ্চালনের একটি প্রকৃষ্ট উপায়।

2-2.5. তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য—সারাংশ (Summary)। বিস্তৃত মাধ্যমে কোথাও কম্পন সৃষ্টি করিলে ঐ কম্পন মাধ্যমের ধর্ম অনুসারে মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়িতে থাকে। মাধ্যমে কম্পনের অগ্রগতিই তরঙ্গগতি। তরঙ্গগতিতে বাস্তব মাধ্যমে

তরঙ্গের গতিপথে অবস্থিত কণাগুলি নিজ নিজ সাম্য অবস্থানের দুপাশে স্পন্দিত হইতে থাকে। গতিপথে দূরস্থ কোন কণা আগের কোন কণার বিচলনের অবস্থা (দশা) কিছুক্ষণ পরে পায়। তরঙ্গগতি অর্থে কণার বিচলনের দশার (phase-এর) অগ্রগতি।

তরঙ্গগতিতে মাধ্যমের কণা স্থান ত্যাগ করিয়া তরঙ্গের সহিত আগাইয়া যায় না। যাহা আগায় তাহা হইল বিচলনের দশা।

তরঙ্গ নানা প্রকারের হইলেও আমরা কেবল অনুদৈর্ঘ্য ও অনুপ্রস্থ তরঙ্গের আলোচনা করিব। স্থিতিস্থাপক বাস্তব মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় যে কোন মাধ্যমে চলিতে পারে। ইহাতে মাধ্যমের কণাগুলি তরঙ্গের অগ্রগতির রেখায় স্পন্দিত হয়, এবং ফলে তরঙ্গের এক অংশে কণাগুলি স্বাভাবিকের চেয়ে বেশী কাছাকাছি ও অন্য অংশে বেশী দূরে থাকে। যে কণাগুলির বিচলন তরঙ্গগতির অভিমুখে তাহারা তরঙ্গের ঘনীভূত অংশ গঠন করে। যে কণাগুলির গতি ইহার বিপরীতে তাহারা তরঙ্গের লঘুভূত অংশ গঠন করে। এক ঘনীভূত ও এক লঘুভূত অংশ লইয়া একটি পূর্ণ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ ; এই দুই অংশের মোট দৈর্ঘ্যকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলে।

অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কেবল কঠিন পদার্থে চলিতে পারে।

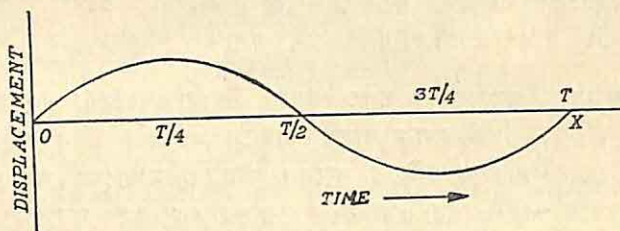
তরঙ্গ শক্তি সঞ্চালন করে। যে বস্তুর কম্পন হইতে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহার শক্তি হইতেই কিছু শক্তি তরঙ্গের সঙ্গে ছড়াইয়া পড়ে।

যে তরঙ্গ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের জন্য ছড়াইতে পারে তাহাকে **স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (elastic waves)** বলে। নির্দিষ্ট প্রকার স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের বেগ নির্দিষ্ট মানের হয় ; এই মান মাধ্যমের ঘনত্ব ও সংশ্লিষ্ট স্থিতিস্থাপক গুণাংক দিয়া নিয়ন্ত্রিত হয়।

2–3. সরল দোলীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of simple harmonic waves)। অনুদৈর্ঘ্যই হউক বা অনুপ্রস্থই হউক, তরঙ্গগতিতে মাধ্যমের কণা নিজের সাম্য অবস্থানের দু পাশে স্পন্দিত হয়। কণার গতি পর্যাবৃত্ত (periodic)। **সরলতম তরঙ্গে এই পর্যাবৃত্ত গতি সরল দোলন** (simple harmonic motion) **বলিয়া ধরা হয়।** ইহাকে আমরা **সরল দোলীয় তরঙ্গ** (simple harmonic waves) বলিব। অন্যরূপ না বলিলে **আমাদের আলোচনায় তরঙ্গগুলিকে সরল দোলীয় ধরা হইবে।**

(১) দোলন সরল বলিয়া সময়ের সঙ্গে কণার বিচলনের লেখ (Time-displacement graph) 2·3 চিত্রের মত হইবে। ইহা সাইন-বক্র (Sine curve)। কণার চরম বিচলনকে বলে **তরঙ্গের বিস্তার** (Amplitude ; a)। কণা যতক্ষণে একটি পূর্ণ দোলন নিষ্পন্ন করে তাহাকে বলে **তরঙ্গের পর্যায়কাল** (Period ; T)। কণা

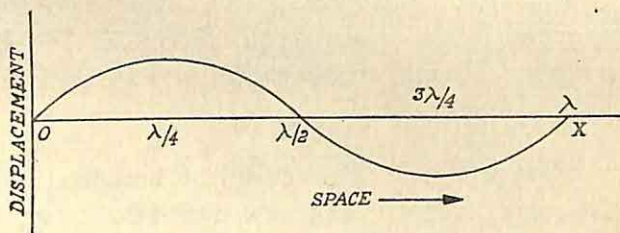
সেকেণ্ডে যতবার কম্পিত হয় তাহাকে **তরঙ্গের কম্পনসংখ্যা** বা **কম্পাংক** (Frequency ; n) বলে। সংজ্ঞা অনুসারে n ও T-তে সম্পর্ক

$$nT=1 \quad \text{বা} \quad n=\frac{1}{T} \quad \text{বা} \quad T=\frac{1}{n} \qquad (2\text{-}3.1)$$

চিত্র 2·3

কণার সরল দোলন দোলনের সহায়ক বৃত্তের (auxiliary circle-এর ; 1-5 বিভাগ) কৌণিক বেগ ω দিয়া লিখিলে, n ও ω-র সম্পর্ক হয়

$$\omega=2\pi n=2\pi/T \qquad (2\text{-}3.2)$$

ω-কে **তরঙ্গের কৌণিক কম্পাংক** (Angular frequency) বলে।

(২) কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে, তরঙ্গগতির পথে যে কোন নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে দূরত্বের সহিত ঐ দূরত্বে অবস্থিত কণাগুলির বিচলনের লেখ (Space-displacement graph) আঁকিলে সরল দোলীয় তরঙ্গে উহা সাইন-বক্রের মতই হইবে (2·4 চিত্র)। একই দিকে চরম বিচলনের দুইটি কণার মধ্যে অবম (minimum) দূরত্বকে **তরঙ্গদৈর্ঘ্য**

চিত্র 2·4

(Wave length ; λ) বলে। **λ বা উহার পূর্ণ গুণিতক** (2λ, 3λ, ইত্যাদি) **দূরত্বে অবস্থিত** কণাগুলির বিচলনের দশা (Phase) ঠিক একই। এজন্য সংজ্ঞা হিসাবে বলা যায় "তরঙ্গগতির পথে একই দশায় অবস্থিত দুটি কণার মধ্যে অবম দূরত্বই **তরঙ্গদৈর্ঘ্য**"। দেখা যাইতেছে, সরল দোলীয় তরঙ্গে নির্দিষ্ট মুহূর্তে দূরত্বের সঙ্গে কণার গতি আবৃত্ত (repeated) হয় ; আবার নির্দিষ্ট স্থানে সময়ের সহিত কণার গতি আবৃত্ত হয়। অতএব তরঙ্গে দেশ (space) ও কাল (time) ঘটিত দুই প্রকার আবৃত্তি (repetition বা periodicity) আছে। দেশঘটিত আবৃত্তির অবম দূরত্বই তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ), এবং কালঘটিত আবৃত্তির অবম কালান্তর (interval of time) তরঙ্গের পর্যায়কাল (T)।

(৩) **তরঙ্গবেগ** (Wave velocity)। তরঙ্গগতিতে গতিপথের একটি কণা যে T সময়ে একটি কম্পন নিষ্পন্ন করিয়া পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে, ততক্ষণে তরঙ্গ যে দূরত্ব আগায় তাহাই তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ, কারণ এরূপ হইলেই কণাদুটির বিচলনের অবস্থা ঠিক একরকম হয়। T সময়ে তরঙ্গ λ দূরত্ব আগায় বলিয়া তরঙ্গগতির বেগ হইবে

$$v = \lambda/T = n\lambda \qquad (2\text{-}3.3)$$

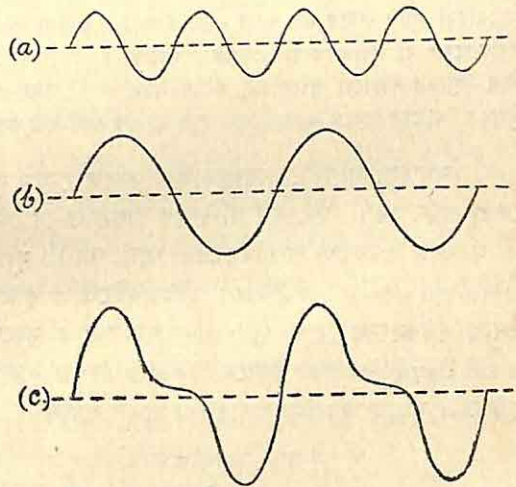
অতএব
$$\lambda = vT = v/n = 2\pi v/\omega \qquad (2\text{-}3.4)$$

এক সেকেণ্ডে n সংখ্যক তরঙ্গ গতিপথের যে কোন বিন্দু অতিক্রম করিয়া যায়।

[সরল দোলীয় না হইলেও যে কোন পর্যাবৃত্ত তরঙ্গ (periodic wave) সম্বন্ধে তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ), তরঙ্গের কম্পাংক (n), তরঙ্গের পর্যায়কাল (T) প্রভৃতি নামগুলি প্রযোজ্য।)

(৪) **তরঙ্গে সঞ্চালিত শক্তি**। ইহা কণার বিস্তার ও তরঙ্গের কম্পাংকের উপর নির্ভর করে। শক্তি উভয় রাশির বর্গের আনুপাতিক। তা ছাড়া শক্তি মাধ্যমের ঘনত্বেরও আনুপাতিক।

চিত্র 2·5

(৫) **তরঙ্গরূপ বা তরঙ্গরেখা (Wave form বা Wave profile)**। কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত কণাগুলির বিচলন নিয়া দূরত্ব-বিচলন বক্র আঁকিলে উহার যে রূপ হয় তাহাকে **তরঙ্গরূপ** বা **তরঙ্গরেখা (Wave form বা Wave profile)** বলে। সরল দোলীয় তরঙ্গে ইহা পূর্ণ একটি সাইন-বক্র। কিন্তু অন্য পর্যাবৃত্ত তরঙ্গে তাহা নয়। কণার গতি সরল দোলন না হইলে তরঙ্গরূপ সাইন-বক্র হইবে না। এই জাতীয় একটি তরঙ্গরূপ 2·5(c) চিত্রে দেখান হইল। উহা দুইটি সরল দোলীয় তরঙ্গ 2·5(a) ও 2·5(b)-র সংযোগে (উপরিপাতে) সৃষ্ট হইয়াছে মনে করা যায়। শব্দের 'কোয়ালিটি' (Quality বা 'জাতি') শব্দতরঙ্গের তরঙ্গরূপের উপর নির্ভর করে।

সরল দোলীয় তরঙ্গগতিতে তরঙ্গরূপ নির্দিষ্ট বেগে মাধ্যমে আগাইয়া চলে ; এই কথাটি মনে রাখিও। এই বেগকে তরঙ্গবেগ (wave velocity) বা দশা-বেগ (phase velocity) বলে।

মাধ্যমকণার বিচলন সরল দোলীয় না হইয়াও পর্যাবৃত্ত হইতে পারে। যে তরঙ্গে কণার বিচলন সরল দোলীয় নয়, অথচ তরঙ্গ সময় ও দূরত্বের সহিত নিয়মিতভাবে আবৃত্ত হইতে থাকে তাহাকে পর্যাবৃত্ত তরঙ্গ (Periodic wave) বলে। যে কোন পর্যাবৃত্ত তরঙ্গকে অনেকগুলি সরলদোলীয় তরঙ্গের সমষ্টি বলিয়া

মনে করা যায়। পর্যাবৃত্ত গতির আলোচনায় সরল দোলনের গুরুত্ব যেরূপ, পর্যাবৃত্ত তরঙ্গের আলোচনায় সরল দোলীয় তরঙ্গের গুরুত্বও সেইরূপ।

2-3.1. সমতল, প্রগামী, সরলদোলীয় তরঙ্গের সমীকরণ (Equation of a plane, progressive, harmonic wave)। 'সরল দোলীয় তরঙ্গ' (Simple harmonic waves বা সংক্ষেপে harmonic waves) বলিতে যে তরঙ্গে কণার দোলন সরল দোলীয় সেরূপ তরঙ্গ বুঝায়। 'সমতল তরঙ্গ' বলিতে যে তরঙ্গের গতি সকল স্থানে একই দিকে, অর্থাৎ একই অক্ষের সমান্তরালে তাহাদের বুঝায়। 'প্রগামী তরঙ্গ' সেইগুলি যেগুলি সীমাহীন ভাবে আগায়, অর্থাৎ কোন বাধার সম্মুখীন হয় না।

এরূপ তরঙ্গ কল্পনামাত্র, কারণ এরূপ তরঙ্গ পাওয়া যায় না। তবে এই কল্পনের সুবিধা হইল যে ইহাকে সব চেয়ে সহজে গণিতের আওতায় আনা যায়, এবং যে কোন আসল তরঙ্গকে এইরূপ অনেকগুলি তরঙ্গের উপরিপাতে (superposition-এ) সৃষ্ট বলিয়া মনে করা যায়। পদার্থবিদ্যার অন্যান্য শাখায় আলোচনা সরল করার জন্য নানা কল্পনের আশ্রয় নেওয়া হয়। বিন্দুকণা, ঘর্ষণহীন তল, আলোকরশ্মি, পরীক্ষণমেরু বা পরীক্ষণআধান ইহাদের কয়েকটি। ইহাদের কোনটিকেই বর্ণিত অর্থে পাওয়া যায় না, কিন্তু ইহাদের সাহায্যে আলোচনা অনেক সরল হয়। তরঙ্গ-তত্ত্বে উপরে বর্ণিত তরঙ্গ এরূপ সরলকারী কল্পন। বাস্তবে ইহাকে না পাইলেও প্রায় এইরূপ তরঙ্গ সৃষ্টি করা যায়।

সমতল, প্রগামী, সরলদোলীয় তরঙ্গে কোন কণার বিচলন সমীকরণের আকারে লেখা শক্ত নয়। তরঙ্গের গতিপথে ইচ্ছামত যে কোন বিন্দুকে মূলবিন্দু ($x=0$) ধর। তরঙ্গ সর্বত্র x-অক্ষে আগাইতেছে মনে কর। মূলবিন্দুর বিচলনের সমীকরণ হইবে $y=a \sin \omega t=a \sin 2\pi nt$। ইহা হইতে x দূরত্বে অবস্থিত কণা t' সময় পরে এই কণার বিচলনের দশা (phase) পাইলে, t মুহূর্তে উহার সমীকরণ হইবে $y=a \sin 2\pi n\,(t-t')$; এখানে $t'=x/v$ এবং $v=$ তরঙ্গগতির বেগ। অতএব মূলবিন্দু হইতে x দূরত্বে অবস্থিত কণার বিচলনের সমীকরণ

$$y=a \sin 2\pi n(t-x/v) \tag{2-3.5}$$

তরঙ্গের v, λ, T, n ও ω রাশিগুলি সম্পর্কিত। কাজেই এই সমীকরণে n ও v-র বদলে দরকার মত উপরোক্ত অন্য দুইটি রাশি আনিয়াও ইহাকে লেখা যায়। ইহাদের যেকোন সমীকরণকেই সমতল, প্রগামী, সরলদোলীয় তরঙ্গের সমীকরণ বলা হয়। $n=1/T$, $v=n\lambda$ ও $n=\omega/2\pi$ বলিয়া সমীকরণের অন্যান্য রূপ

$$y=a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)=a \sin 2\pi\left(nt-\frac{x}{\lambda}\right)$$

$$=a \sin\left(\omega t-\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \tag{2-3.6}$$

$2\pi/\lambda=k$ লিখিলে $kv=\omega$ হয়। k দিয়া লিখিলে পাই

$$y=a \sin(\omega t-kx)=a \sin k(vt-x) \tag{2-3.7}$$

তরঙ্গ যে v-বেগে x-অক্ষে আগাইয়া চলে তাহা সমীকরণ হইতেই পাওয়া যায়, কারণ t-র বদলে $t+1$ ও x-এর বদলে $x+v$ লিখিলে y-এর মান একই থাকে।

ইহার অর্থ x বিন্দুতে t মুহূর্তে বিচলনের যে দশা, এক সেকেণ্ড পরে $x+v$ বিন্দুতে সেই দশা হয়, অর্থাৎ বিচলনের দশা, পজিটিভ x-অক্ষে v-বেগে আগায়। তরঙ্গ প্রগামী, কারণ x-অক্ষে উহার শেষ কোথাও নাই। নির্দিষ্ট কোন x বিন্দুতে কণার বিচলন অবশ্যই সরলদোলীয়।

তরঙ্গ বিপরীত দিকে, অর্থাৎ নিগেটিভ x-অক্ষে আগাইলে সমীকরণ হইত

$$y = a \sin 2\pi n\,(t + x/v) = a \sin(\omega t + kx)$$

$$= a \sin k(vt + x) \text{ ইত্যাদি} \qquad (2\text{-}3.8)$$

কেন, তাহা অন্য সমীকরণটির মত পরীক্ষা করিয়া দেখিতে পারে; t স্থানে $t+1$ ও x-এর বদলে $x-v$ নাও।

মনে রাখিও, এই সকল সমীকরণে

a = তরঙ্গের বিস্তার (amplitude),

T = তরঙ্গের পর্যায়কাল (period),

λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wave length),

n = তরঙ্গের কম্পাংক (frequency),

ω = তরঙ্গের কৌণিক কম্পাংক (angular frequency),

y = তরঙ্গগতির পথে স্বৈচ্ছিক (arbitrary) কোন স্থির বিন্দু হইতে x দূরত্বে অবস্থিত কণার t মুহূর্তে বিচলন (তরঙ্গ যখন $x=0$ বিন্দুতে ছিল, তখন $t=0$ এবং $y=0$ ছিল)।

$k = 2\pi/\lambda$ রাশিটিকে 'তরঙ্গদৈর্ঘ্য স্থিরাংক' (wave length constant) বলে।

প্রশ্ন। (1) কোন তরঙ্গের বিস্তার 0·1 mm, বেগ 350 m/s ও কম্পাংক 500/s। তরঙ্গের দৈর্ঘ্য ও পর্যায়কাল কত? x বিন্দুতে উহার বিচলন y-এর সমীকরণ লেখ।

[উত্তর : তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \dfrac{\text{বেগ}}{\text{কম্পাংক}} = \dfrac{350 \text{ m/s}}{500/\text{s}} = \dfrac{350}{500}\text{ m} = 70 \text{ cm}$।

পর্যায়কাল $= 1/\text{কম্পাংক} = 1/(500/\text{s}) = 0{\cdot}002$ s।

সমীকরণ $y = 0{\cdot}01 \sin 2\pi \times 500(t - x/35000)$ cm। এখানে y ও x সেন্টিমিটারে ও t সেকেণ্ডে নিতে হইবে। y ও x মিটারে লইলে

$$y = 1.10^{-4} \sin 1000\pi(t - x/350) \text{ m}$$ ।]

(2) কোন তরঙ্গের সমীকরণ $y = 1.10^{-5} \sin 2\pi\left(\dfrac{t}{0{\cdot}01} - \dfrac{x}{200}\right)$ মিটার। t সেকেণ্ডে এবং x সেন্টিমিটারে প্রকাশিত হইলে তরঙ্গের (ক) বিস্তার, (খ) পর্যায়কাল, (গ) কম্পাংক, (ঘ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও (ঙ) বেগ কত?

[উত্তর : (ক) 1.10^{-5} m ; (খ) 0·01 s ; (গ) 100/s ; (ঘ) 200 cm ; (ঙ) 200 m/s।]

(3) তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1 মিটার হইলে তরঙ্গগতির পথে 10 cm দূরে দুটি বিন্দুর দশা-বৈষম্য কত?

[λ দূরত্বে দশা-বৈষম্য 2π হওয়ায় উত্তর 36°।]

2-4. তরঙ্গের কয়েকটি সাধারণ ধর্ম (Some common properties of waves)। অনুদৈর্ঘ্য হউক, অনুপ্রস্থ হউক, সরল তরঙ্গেরই কতকগুলি সাধারণ ধর্ম আছে। তাহার কয়েকটি নিচে বলা হইল।

(১) **প্রতিফলন (Reflection)।** তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অন্তত কয়েকগুণ বড়, মসৃণ তলে তরঙ্গ আপতিত হইলে উহার প্রতিফলন হয়। আলোর ক্ষেত্রে প্রতিফলনের সূত্র তোমাদের জানা আছে। সকল তরঙ্গই ঐ সূত্র মানিয়া চলে। (চতুর্থ পরিচ্ছেদ দেখ।)

(২) **প্রতিসরণ (Refraction)।** এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে যাইতে তরঙ্গের প্রতিসরণ হয়। আলোর প্রতিসরণের সূত্র তোমরা জান। অন্য তরঙ্গও এই সূত্র মানিয়া চলে। (চতুর্থ পরিচ্ছেদ দেখ।)

(৩) **ব্যতিচার (Interference)।** ঠিক একই রকম দুইটি তরঙ্গের উপরিপাতে (superposition-এ) বিশেষ ক্ষেত্রে মাধ্যমের কোন কোন স্থানে কোন সময়েই বিচলন হয় না। এই ঘটনাকে 'ব্যতিচার' বলে। শব্দ এবং আলো উভয়ের ক্ষেত্রেই ইহা হয়। (5-5 বিভাগ দেখ।)

(৪) **বিবর্তন (Diffraction)।** তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তুলনীয় দৈর্ঘ্যের কোন বাধার সম্মুখীন হইলে বা কোন বাধার একপ্রান্ত অতিক্রম করিয়া চলিলে, তরঙ্গ বাঁকিয়া উহার ছায়াঅঞ্চলে যাইতে পারে। এই ঘটনাকে 'বিবর্তন' বলে। ইহা আলোক- ও শব্দ-তরঙ্গ উভয়েই দেখা যায়। শব্দ-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য বেশী বলিয়া শব্দের ক্ষেত্রে বিবর্তন বেশী প্রকট।

(৫) **বিক্ষেপণ (Scattering)।** তরঙ্গের পথে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় ছোট কোন বস্তু পড়িলে ঐ বস্তুটি তরঙ্গের ক্রিয়ায় কম্পিত হইতে থাকে। ইহা ঐ বস্তুর পরবশ কম্পন (forced vibration)। এই কম্পনের শক্তি তরঙ্গ হইতে আসে। বস্তুটি তরঙ্গ হইতে শক্তি নিয়া গোলীয়-তরঙ্গের আকারে তাহা মাধ্যমের সকল দিকে ছড়াইয়া দেয়। এই ঘটনাকে বিক্ষেপণ বলে।

(৬) অনুপ্রস্থ তরঙ্গের **ধ্রুবণ** বা **সমবর্তন** (Polarization) বলিয়া একটি বিশেষ ধর্ম আছে যাহা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের নাই। তরঙ্গের ধ্রুবণ ঘটে কি ঘটে না তাহা পরীক্ষা করিয়া বোঝা যায় তরঙ্গ অনুপ্রস্থ কি অনুদৈর্ঘ্য। আলোকতরঙ্গের ধ্রুবণ ঘটে ; উহা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। শব্দতরঙ্গে ধ্রুবণ ঘটে না ; উহা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।

তরঙ্গের উপরিপাত (Superposition of waves)। মাধ্যমের একই অঞ্চলে একই সময়ে দুইটি তরঙ্গ একসঙ্গে আসিয়া পড়িলে উহাদের যৌথ ক্রিয়ায় বিচিত্র ঘটনা ঘটিতে দেখা যায়। উহাদের একটি ব্যতিচার (Interference), অন্য একটি স্থিরতরঙ্গ (Stationary waves)। শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে স্বরকম্প (Beats)-ও উপরিপাতের একটি উদাহরণ। (পঞ্চম পরিচ্ছেদ দেখ।)

তরঙ্গাগ্র (Wave front) ও রশ্মি (Ray)। তরঙ্গের অগ্রগতির পথে অবস্থিত মাধ্যমের বিভিন্ন কণা কম্পনের বিভিন্ন দশায় (phase-এ) থাকে। কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে

কম্পনের একই দশাবিশিষ্ট কণাগুলি বিস্তৃত মাধ্যমে যে অবিচ্ছিন্ন তলের (continuous surface-এর) উপর অবস্থিত থাকে, তাহাকে 'তরঙ্গাগ্র' (wave front) বলে। অন্যভাবে বলা হয় "তরঙ্গগতিতে মাধ্যমে একই দশায় অবস্থিত কণার অবিচ্ছিন্ন সঞ্চারপথ (continuous locus)-ই তরঙ্গাগ্র"।

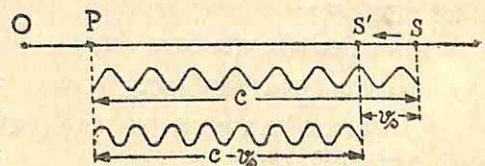
সমসত্ত্ব (homogeneous) মাধ্যমে তরঙ্গাগ্রের কোন বিন্দুতে তরঙ্গগতি তরঙ্গাগ্রের অভিলম্বে। মাধ্যমের একবিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে তরঙ্গ যে পথে আগায় তাহাকে 'রশ্মি' (Ray) বলে। ইহাও কল্পন। রশ্মি সর্বত্র তরঙ্গাগ্রের অভিলম্বে।

একমুখী তরঙ্গগতিতে তরঙ্গাগ্রগুলি সমতল। এরূপ তরঙ্গকে **সমতল তরঙ্গ (Plane waves)** বলে। মাধ্যমের গোলাকার কোন অংশে আলোড়নের সৃষ্টি হইয়া তরঙ্গের উদ্ভব হইলে, তরঙ্গাগ্রগুলি গোলকপৃষ্ঠের আকারের হইবে। এগুলিকে 'গোলীয় তরঙ্গ' (spherical waves) বলে। গোলীয় তরঙ্গে রশ্মিগুলি গোলকের ব্যাসার্ধ বরাবর। একই রকম এক সারি তরঙ্গকে **তরঙ্গমালা (Wave train)** বলে।

2-5. ডপলার বিক্রিয়া (Doppler effect)। শ্রোতা ও স্বনকের মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকিলে, শ্রোতার কানে স্বনকের কম্পাংক উহার যথার্থ কম্পাংক হইতে আলাদা বলিয়া মনে হয়। এই ঘটনাকে **ডপলার বিক্রিয়া** বলে। (1842 খ্রীস্টাব্দে অস্ট্রিয়া দেশীয় গণিতের অধ্যাপক ক্রিস্টিয়ান ডপলার ইহা আবিষ্কার করেন।) রেলগাড়ির ইঞ্জিন হুইস্‌ল্ দিতে দিতে শ্রোতার কাছে আসিতে থাকিলে হুইস্‌লের কম্পাংক স্থির অবস্থার কম্পাংকের চেয়ে বেশী মনে হয়। গাড়ি দূরে চলিয়া যাইতে থাকিলে ইহার বিপরীত ক্রিয়া দেখা যায়। মোটর গাড়ি বা এরোপ্লেনের গতির ফলেও অনুরূপ ক্রিয়া দেখা যায়।

ডপলার বিক্রিয়া সকলপ্রকার তরঙ্গগতিতেই ঘটে। এই বিক্রিয়া পরিষ্কারভাবে টের পাইতে হইলে আপেক্ষিকগতি তরঙ্গগতির তুলনায় একেবারে উপেক্ষণীয় না হওয়া দরকার। আলোকতরঙ্গেও ইহা ঘটে; কিন্তু আলোর বেগ খুব বেশী বলিয়া আলোতে ডপলার বিক্রিয়া টের পাইতে সূক্ষ্ম যন্ত্রের দরকার হয়।

সুবিধার জন্য শ্রোতা ও স্বনকের মধ্যে আপেক্ষিক গতি উহাদের যোগকারী রেখায় ঘটিতেছে বলিয়া আমরা মনে করিব।

(১) **স্বনক সচল (Source moving) ; শ্রোতা স্থির।** ধরা যাক স্বনক S (2·6 চিত্র) v_s বেগে শ্রোতা O-র দিকে আগাইতেছে এবং শ্রোতা স্থির আছেন। স্বনকের কম্পাংক n হইলে, এক সেকেণ্ডে S হইতে নির্গত λ-দৈর্ঘ্যের n-সংখ্যক তরঙ্গ S-এর গতির জন্য SO-রেখায় $c-v_s$ দৈর্ঘ্যের মধ্যে আবদ্ধ থাকিবে

চিত্র 2·6

(c শব্দের বেগ)। অতএব এই তরঙ্গগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ' হইবে $\lambda'=(c-v_s)/n$। শ্রোতার কাছে এরূপ তরঙ্গের কম্পাংক মনে হইবে

$$n'=\frac{c}{\lambda'}=\frac{c}{(c-v_s)/n}=n\cdot\frac{c}{c-v_s} \tag{2-5.1}$$

অতএব কম্পাংকের পরিবর্তন

$$n'-n=n\left\{\frac{c}{c-v_s}-1\right\}=n\cdot\frac{v_s}{c-v_s}, \tag{2-5.2}$$

এবং কম্পাংকের আপেক্ষিক পরিবর্তন

$$=\frac{n'-n}{n}=\frac{v_s}{c-v_s} \tag{2-5.3}$$

স্বনক শ্রোতা হইতে v_s-বেগে দূরে চলিয়া যাইতে থাকিলে v_s-এর বদলে আমাদের $-v_s$ লইতে হইবে। ইহাতে পাই

$$n'=nc/(c+v_s) \tag{2-5.4}$$

(২) **শ্রোতা সচল; স্বনক স্থির (Observer moving ; source at rest)।** শ্রোতা স্বনকের দিকে v_0 বেগে আগাইতে থাকিলে, এক সেকেণ্ডে $c+v_0$ দূরত্বের মধ্যে যতগুলি তরঙ্গ আছে তাহার সবগুলি শ্রোতার কানে পৌঁছিবে। এই তরঙ্গগুলির সংখ্যা $(c+v_0)/\lambda=(c+v_0)/(c/n)$, কারণ স্বনক সেকেণ্ডে λ দৈর্ঘ্যের n-সংখ্যক তরঙ্গ ছাড়ে এবং $c=n\lambda$। অতএব, এক্ষেত্রে শ্রোতার কানে সেকেণ্ডে যে n'-সংখ্যক তরঙ্গ পৌঁছিবে তাহার মান

$$n'=n.\frac{c+v_0}{c} \tag{2-5.5}$$

শ্রোতা v_0 বেগে স্বনক হইতে দূরের দিকে সরিয়া যাইতে থাকিলে v_0-র বদলে $-v_0$ লইতে হইবে।

অনুশীলনী

1. বাস্তব মাধ্যমে তরঙ্গের যে কোন একটি উদাহরণ লইয়া তরঙ্গগতি কিভাবে ঘটে ও উহার প্রকৃতি কিরূপ তাহা বুঝাও। তরঙ্গে কি আগায়?

2. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কাহাকে বলে? ইহাতে 'কম্প্রেশন্' ও 'রেয়ারিফ্যাকশন্' বলিতে কি বুঝায়? তরঙ্গের এই দুই অংশে মাধ্যমের কণার গতি কোন্ দিকে? অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গপ্রবাহে মাধ্যমকণা কি প্রকার গতি নিষ্পন্ন করে?

3. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সকল প্রকার মাধ্যমে চলিতে পারে, কিন্তু অনুপ্রস্থ তরঙ্গ কেবল কঠিন মাধ্যমে চলিতে পারে কেন?

তরঙ্গগতির শক্তি আসে কোথা হইতে?

4. তরঙ্গগতির বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর। [সংকেত—2-2.5 বিভাগ দেখ।]

5. সরলদোলীয় তরঙ্গ কাহাকে বলে? এরূপ তরঙ্গের বিস্তার, পর্যায়কাল, কম্পাংক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলিতে কি বুঝায়?

তরঙ্গবেগের সহিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সম্পর্ক বাহির কর।

6. পর্যাবৃত্ত তরঙ্গ ও তরঙ্গরূপ কাহাকে বলে? তরঙ্গরূপ রাশিটির গুরুত্ব কি? পর্যাবৃত্ত তরঙ্গ সম্পর্কে সরলদোলীয় তরঙ্গের গুরুত্ব কি? [সংকেত— 2-3 বিভাগের শেষাংশ দেখ।]

7. সমতল, প্রগামী, সরলদোলীয় তরঙ্গ বলিতে কি প্রকার তরঙ্গ বুঝায়? উহার সমতল, প্রগামী ও সরলদোলীয় কথা তিনটির অর্থ স্পষ্ট করিয়া বল। এরূপ তরঙ্গের গুরুত্ব কি? এই তরঙ্গে কণার বিচলনের সমীকরণ স্থাপন কর, এবং সমীকরণের বিভিন্ন রাশির অর্থ বুঝাইয়া বল।

8. $y=a \sin 2\pi n(t-x/v)$ এবং $y=a \sin 2\pi n(t+x/v)$ কিভাবে x-অক্ষে বিপরীতমুখী দুইটি তরঙ্গ বুঝায়, তাহা দেখাও। সমীকরণের বিভিন্ন রাশিগুলির অর্থ বল।

9. উপরের প্রশ্নের যে কোন সমীকরণ লইয়া ঐ তরঙ্গে কণার সরণ $1/n=T$ সময় পরপর এবং v/n দূরত্ব পরপর আবৃত্ত (repeated) হয় তাহা দেখাও।

10. তরঙ্গের সাধারণ ধর্মগুলির নাম কর ও উহাদের প্রকৃতি যথাসম্ভব বল।

11. তরঙ্গাগ্র (Wave front) কাহাকে বলে? রশ্মির (Rays) সহিত ইহার কি সম্পর্ক?

12. (ক) কোন টিউনিং ফর্ক সেকেণ্ডে 200 বার কাঁপে। উহাতে সৃষ্ট শব্দতরঙ্গের বেগ 340 m/s হইলে, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও তরঙ্গের পর্যায়কাল কত? [উত্তর : 1·7 m ; 1/200 s]

(খ) ফর্কের কম্পাংক 256/s ও জলে শব্দের বেগ 1024 m/s হইলে, 100 m দূরত্বে শব্দ পৌঁছিবার মধ্যে ফর্কের কয়টি কম্পন হইবে? [উত্তর : 25]

13. ডপলার বিক্রিয়া কাহাকে বলে উদাহরণ দিয়া বুঝাইয়া বল। তরঙ্গের উৎস u বেগে দর্শকের দিকে আগাইতে থাকিলে দর্শকের নিকট কম্পাংক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত কত মনে হইবে?

৩ ‖ # শব্দতরঙ্গ ও শব্দের বেগ
(Sound waves and velocity of sound)

3-1. শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (Sound waves are longitudinal elastic waves)। (১) শব্দের উৎপত্তি কম্পনে, এবং শব্দের প্রসারণে বাস্তব মাধ্যমের দরকার হয়, ইহা জানা কথা। (নির্বাত পাম্পের (vacuum pump) আসনে বসান বেল্-জারের ভিতরে রাখা বৈদ্যুত ঘণ্টার শব্দ নির্বাতনের সঙ্গে সঙ্গে কমিয়া যাওয়ার পরীক্ষাটি সকলেরই জানা। 1705 সালে হক্স্‌বি (Hawksby) এটি প্রথম দেখান। বাস্তব মাধ্যম ছাড়া শব্দের প্রসারণ হয় না।)

(২) বায়ুতে শব্দের প্রসারণের সময় বায়ু স্থান ছাড়িয়া আগায় না। খুব জোরাল শব্দ করিলেও সেখানে বায়ুর কোন প্রবাহ দেখা যায় না। এ আচরণ তরঙ্গের আচরণের মত। কোন তরঙ্গেই মাধ্যম স্থান ছাড়িয়া তরঙ্গের অগ্রগতির দিকে প্রবাহিত হয় না।

(৩) শব্দ সকলপ্রকার (অর্থাৎ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়) মাধ্যমে নির্দিষ্ট বেগে চলে। বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ও ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। তরঙ্গের আচরণও এইরূপ। অতএব শব্দ নিশ্চয়ই বাস্তব মাধ্যমে স্থিতিস্থাপকতাজনিত কোন প্রকার তরঙ্গ।

(৪) তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের ভিতর দিয়া কেবল অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ যাইতে পারে ; অনুপ্রস্থ তরঙ্গ পারে না। অতএব শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য।

(৫) তরঙ্গের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, বিবর্তন (Diffraction), ব্যতিচার (Interference) প্রভৃতি ধর্ম শব্দেও পাওয়া যায়। ইহা শব্দের তরঙ্গপ্রকৃতি সমর্থন করে। শব্দের ধ্রুবণ (Polarization) ঘটে না বলিয়া শব্দতরঙ্গ যে অনুপ্রস্থ নয়, তাহাও সমর্থিত হয়।

এই সকল ঘটনা হইতে শব্দে যে বাস্তব মাধ্যমে স্থিতিস্থাপক অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ তাহার পূর্ণ সমর্থন পাওয়া যায়।

2-1 বিভাগে আমরা বলিয়াছি বাস্তব মাধ্যমে তরঙ্গসৃষ্টি ও উহার অগ্রগতির জন্য মাধ্যমে জড়ত্ব ও স্থিতিস্থাপকতা থাকা দরকার। শব্দ গ্যাসে বাহিত হয়। গ্যাসে কেবল আয়তন বিকার সংক্রান্ত স্থিতিস্থাপকতা আছে। **শব্দ তরঙ্গগুলি আয়তন বিকারজনিত অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ** (Longitudinal elastic waves)। (3-3 বিভাগও দেখ।)

শব্দের সংজ্ঞা (Definition of sound)। শব্দের কোন সংজ্ঞা দেওয়া যায় কি না তাহা লইয়া বিজ্ঞানীরা অনেক আলোচনার পর স্থির করিয়াছেন "শব্দ বলিতে চাপ (pressure), পীড়ন (stress), কণার বিচলন বা বেগের যে প্রত্যাবর্তী পরিবর্তন (alternation) স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে

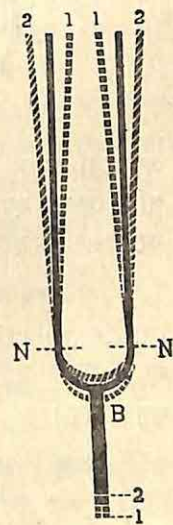
ছড়াইয়া পড়ে তাহা, বা এই সকল ছড়াইয়া পড়া রাশির কম্পনের উপরিপাত (superposition) বুঝায়।" (Sound is an alternation in pressure, stress, particle displacement or particle velocity, which is propagated in an elastic material, or the superposition of such propagated vibration. —American Standards Association)

এই সংজ্ঞা নৈর্ব্যক্তিক বা বিষয়মুখী (Objective); আমরা কানে শুনিতে পাই বা না পাই তাহার উপর শব্দের সংজ্ঞা নির্ভর করে না। উপরে যে সকল রাশির কম্পনের কথা বলা হইয়াছে, কম্পন সংখ্যা মোটামুটি 20 হইতে 20,000-এর মধ্যে হইলে উহা আমাদের কানে শব্দের অনুভূতি জাগায়। কুকুর, বাদুড়, পাখী আরও বেশী কম্পন সংখ্যার শব্দ শুনিতে পায়। শব্দ-তত্ত্বের বিভিন্ন বিষয় পড়িবার সময় ঐ বিষয়ের সঙ্গে উপরের সংজ্ঞার কোথায় মিল আছে লক্ষ্য করিও।

3-2. শব্দের উৎস বা স্বনক (Sources of sound)। আলোর উৎস বা দীপকের কিছুটা শ্রেণীবিভাগ করা সম্ভব। কিন্তু শব্দের উৎস বা 'স্বনক'-এর শ্রেণীবিভাগ করার চেষ্টা প্রায় অর্থহীন। কঠিন, তরল বা বায়বীয় কোন বস্তু প্রতি সেকেণ্ডে মোটামুটি 20 হইতে 20,000 বার কম্পিত হইয়া উহা যে মাধ্যমে অবস্থিত সেই মাধ্যমে শব্দতরঙ্গ উৎপন্ন করিতে পারিলে উহাকেই 'স্বনক' (source of sound) বলা যাইবে। কম্পাংক ঐ সীমার বাহিরে হইলে সাধারণত সে শব্দতরঙ্গ আমাদের কানে শব্দের অনুভূতি জাগায় না।

যে কোন কঠিন পদার্থে আঘাত করিয়া দেখ, শব্দ শুনিতে পাইবে। বাদ্যযন্ত্রের স্বনকগুলি আমরা স্পষ্ট বুঝিতে পারি। সেতার, এস্রাজ, বেহালা, পিয়ানো, গীটার, ইত্যাদিতে তারের কম্পনে শব্দের সৃষ্টি; এগুলিতে তারই স্বনক। ঢাক, ঢোল, মৃদঙ্গ, তবলাতে চামড়ার পর্দাটি স্বনক। বাঁশী, সানাই ইত্যাদিতে উহাদের নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভ স্বনক; ঐ বায়ুস্তম্ভের কম্পনে শব্দের সৃষ্টি হয়। খেলায় রেফারীর হুইস্‌লেও উহার ভিতরে বায়ু স্বনক। আমাদের গলার ভিতরে একজোড়া পাতলা পর্দা (vocal cords) আছে; তাহাদের মধ্যে একটু ফাঁক দিয়া বায়ু ঠেলিয়া বাহির করিয়া দিবার সময় পর্দা কাঁপে ও শব্দ হয়। ইহাই আমাদের কথা বলিবার যন্ত্র। আমাদের কাছে এইটিই সবচেয়ে দরকারী স্বনক। বৃষ্টির সময় জলে ডুব দিয়া যে ঝরঝর শব্দ শুনিতে পাও তাহা জলের অংশ বিশেষের কম্পন।

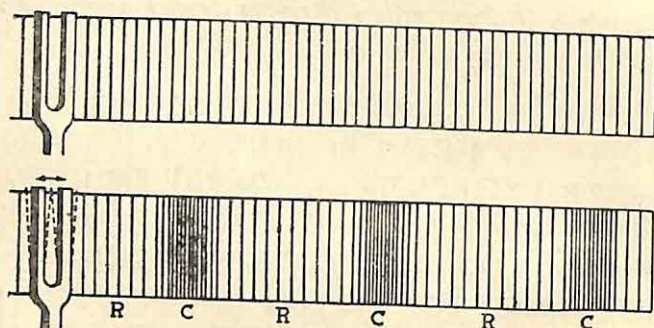
3-2.1. টিউনিং ফর্ক (Tuning fork)। তরঙ্গসংক্রান্ত সকল পরীক্ষায় একটি মাত্র কম্পাংকের তরঙ্গ সৃষ্টি করিতে পারে এমন ব্যবস্থা খুবই দরকারী। শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে টিউনিং ফর্ক (বা সুরশলাকা) এরূপ একটি যন্ত্র। ইহার কথা বলিয়া নেওয়া দরকার। টিউনিং ফর্ক বলিতে মাঝখানে হাতল লাগান ইস্পাতের একটি U-আকারের দণ্ড বুঝায় (3·1 চিত্র)। উহার এক বাহুতে আঘাত করিলে উভয় বাহুই কাঁপে। কম্পনের প্রকৃতি চিত্রে দেখান হইয়াছে। দুই বাহুই একসঙ্গে ভিতরের দিকে আসে (1-অবস্থান) বা বাহিরের

2 1 1 2
N N
B
2
1

চিত্র 3·1

দিকে যায় (2-অবস্থান)। দুই বাহুর গোড়ার দিকের দুটি বিন্দু (N) কাঁপে না। উহাদের 'নোড' (Node) বা 'নিষ্পন্দ বিন্দু' বলে। ফর্কের কম্পনে দুই নোডের মধ্যের অংশ ওঠানামা করে এবং হাতলও ইহাতে ওঠে নামে।

টিউনিং ফর্কের বৈশিষ্ট্য এই যে ইহা হইতে মাত্র একটি কম্পাংকের শব্দ পাওয়া যায়। এরূপ শব্দকে 'বিশুদ্ধ স্বর' (pure tone) বলা যায়। সাধারণত যে সব শব্দ হয় তাহার সবগুলিতেই একসঙ্গে একাধিক কম্পাংক থাকে। বিশুদ্ধ স্বর দিতে পারে বলিয়া শব্দ-সংক্রান্ত পরীক্ষা নিরীক্ষায় টিউনিং ফর্ক একটি অতি আবশ্যকীয় স্বনক।

ফর্কের এক বাহুতে খানিকটা মোম লাগাইলে বা একটু তার জড়াইলে উহার কম্পাংক কমে। একই তার নোড হইতে বেশী উঁচুতে জড়াইলে কম্পাংক বেশী কমে। ফর্কের কোন বাহুর ওজন ঘষিয়া কমাইয়া দিলে কম্পাংক বাড়ে।

3-2.2. সরলদোলীয় স্বনক। সরলদোলীয় সমতল তরঙ্গ শব্দসম্বন্ধীয় পরীক্ষার কাজে খুব দরকারী বলিয়া সে রকম স্বনকও সৃষ্ট হইয়াছে। ইহাতে পাতলা

চিত্র 3·2

একখানা ধাতব পর্দাকে (বা বেলনের সমতল প্রান্তকে) বৈদ্যুতিক উপায়ে সরলদোলীয় গতি দেওয়া হয়। ইহার কম্পাংক বেশী থাকে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় পর্দার ব্যাস কয়েকগুণ বড় হইলে সৃষ্ট তরঙ্গ স্বনক হইতে অল্প দূরেই কার্যত সমতল তরঙ্গে পরিণত হয়।

স্বনকের আকার (size) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় ছোট হইলে সৃষ্ট তরঙ্গগুলি কার্যত গোলীয় (spherical) হয়। গোলীয় তরঙ্গের কোন বৈশিষ্ট্য আমরা আলোচনা করিব না। স্বনক হইতে কিছু দূরে গোলীয় তরঙ্গের স্বল্পাংশকে সমতল তরঙ্গই মনে করা যায়।

3-3. মাধ্যমে শব্দের প্রসারণ (Propagation of sound)। বায়ুতে টিউনিং ফর্ক কাঁপাইয়া শব্দের প্রসারণের প্রকৃতি আমরা বুঝিতে পারি। সুবিধার জন্য ফর্কের ডান বাহুর কম্পনের ফল আমরা আলোচনা করিব (3·2 চিত্র) এবং ডানদিকের স্থির বায়ুকে অনেকগুলি সমান্তরাল স্তরে বিভক্ত মনে করিব। ফর্কের

বাহু কাঁপিবার সময় যখন বাঁ হইতে ডানদিকে আসে, তখন উহা নিজের ডানদিকের স্তরকে চাপে। এই স্তরে চাপ বাড়ে। স্থিতিস্থাপকতার জন্য এই স্তর নিজের চাপ কমাইতে পরবর্তী স্তরকে চাপে। এইভাবে স্তর পরম্পরা একটা 'বেশী চাপের অবস্থা' (Condensation ; C) ডানদিকে আগাইয়া যাইতে থাকে। ফর্কের আলোচ্য বাহু অর্ধকম্পন শেষ করিয়া যখন বাঁ দিকে যাইতে শুরু করে, তখন উহার পিছনে আংশিক শূন্যতা হয়। পাশের বায়ুস্তর এই আংশিক শূন্যতায় প্রসারিত হয় ; ফলে উহার চাপ কমে। তখন তাহার পরবর্তী (ডানদিকের) স্তর হইতে কিছু বায়ুকণা এই কম চাপের স্তরে আসিয়া পড়ে এবং এই স্তরেরও চাপ কমে। এইভাবে একটা 'কম চাপের অবস্থা' (Rarefaction ; R) স্তর পরম্পরা 'বেশী চাপের' স্তরগুলির পিছন পিছন চলিতে থাকে। বেশী চাপের স্তরগুলিকে সম্মিলিতভাবে 'ঘনীভূত স্তর' ও কম চাপের স্তরগুলিকে সম্মিলিতভাবে 'লঘুভূত স্তর' বলা হয়। একটি ঘনীভুত ও একটি লঘুভূত স্তর লইয়া একটি পূর্ণ শব্দতরঙ্গ।

যতক্ষণে ফর্কের বাহু একটি কম্পন পূর্ণ করে ততক্ষণে ঘনীভূত স্তর খানিকটা আগাইয়া গিয়াছে। বায়ুর ঘনীভবন বা লঘুভবন যে বেগে আগায় তাহাই শব্দতরঙ্গের বেগ (wave velocity)। ঘনীভূত স্তরে বায়ুকণাগুলির বিচলন (displacement) তরঙ্গগতির অভিমুখে। লঘুভূতস্তরে তাহার বিপরীতে। নির্দিষ্ট কোন বায়ুকণা একবার ডাইনে একবার বাঁয়ে বিচলিত হয়, অর্থাৎ নিজের স্বাভাবিক বা সাম্য অবস্থানের তুপাশে তুলিতে থাকে। সরলতম তরঙ্গে এই কম্পনকে আমরা সরল-দোলীয় মনে করি। ফর্কের কম্পনে ইহাই হয়।

(বায়ুকণা বলিতে খুব অল্প আয়তন বায়ু, ধর 10^{-15}cm^3 আয়তনের বায়ু, মনে করিতে পার। ইহাতে বায়ুমণ্ডলের চাপে প্রায় 10^4-টি অণু থাকিবে। বায়ুকণার বিচলন বলিতে এইরূপ অংশের বিচলন বুঝিতে হইবে।)

বায়ুর শব্দতরঙ্গে মাধ্যমে তরঙ্গের পথে চাপ বাড়ে কমে, বায়ুকণা কম্পিত হয় এবং উহার বেগও বাড়ে কমে। ফর্কের বাহু কম্পনের সময় নিজ সাম্য অবস্থান যখন অতিক্রম করে তখনই উহার সংলগ্ন বায়ুকণার বেগ সব চেয়ে বেশী হয়। বাহু যে যে সময়ে কম্পনের তুই প্রান্তে তখন সংলগ্ন বায়ুকণা মুহূর্তেক স্থির। তরঙ্গের অগ্রগতির পথে সকল কণার বেগই এইভাবে বদলায়। ইহা সরল দোলনের বেগ। (3-1 বিভাগের শেষে শব্দের সংজ্ঞার সঙ্গে এগুলি মিলাইয়া দেখ।)

3-4. শব্দের বেগ (Velocity of sound)। শব্দতরঙ্গের বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ও ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। ইহার প্রমাণ আমাদের বর্তমান গণ্ডীর বাহিরে। তবে জানিয়া রাখ শব্দের বেগ c হইলে, ρ ঘনত্বের গ্যাসে $c^2 = K/\rho$ বা $c = \sqrt{K/\rho}$ (K = আয়তন বিকার গুণাংক বা Bulk modulus ; 'পদার্থের ধর্ম' অংশের দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।)

0°C উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ 331·46 m/s। প্রতি সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ইহার মান প্রায় 0·61 m করিয়া বাড়ে।

3-4.1. নিউটনের সমীকরণ ও লাপ্লাসের শুদ্ধি (Newton's equation and Laplace's correction)। উষ্ণতা স্থির থাকিলে আদর্শ গ্যাসে K-র মান গ্যাসের চাপ P-এর সমান হয়। নিউটন ইহা ধরিয়া বায়ুতে শব্দের বেগ গণনা করেন। কিন্তু গণনার ফল পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে মেলে না। লাপ্লাস বলেন শব্দতরঙ্গে চাপের পরিবর্তন এত দ্রুত হয় যে তরঙ্গের প্রবাহকালে ঘনীভবনে যে উষ্ণতা বৃদ্ধি বা লঘুভবনে যে উষ্ণতা হ্রাস হয় তাহা গ্যাসের স্বাভাবিক উষ্ণতার সমান হইয়া যাইবার অবকাশ পায় না। বায়ু তাপ-কুপরিবাহী বলিয়া গ্যাস সমোষ্ণ হওয়ার পথে আরও বাধা পড়ে। অতএব শব্দের প্রসারণকালে গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকে, ইহা মনে করা ঠিক নয়। তিনি বলেন শব্দতরঙ্গের প্রবাহকালে গ্যাসীয় মাধ্যমে উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধি লোপ পাইবার সময় ও সুযোগ পায় না বলিয়া K গণনায় গ্যাসে 'রুদ্ধতাপ' (adiabatic) অবস্থা রহিয়াছে ধরিতে হইবে। রুদ্ধতাপ অবস্থায় $K=\gamma P$ হয়। γ হইল স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_p-র সহিত স্থির আয়তনে উহার আপেক্ষিক তাপ C_v-র অনুপাত, অর্থাৎ $\gamma=C_p/C_v$। সুতরাং গ্যাসের ক্ষেত্রে শব্দের প্রসারণে $K=\gamma P$ হইবে। অতএব গ্যাসে

$$c=\sqrt{\gamma P/\rho} \qquad (3\text{-}4.1)$$

হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি যে সকল গ্যাসের অণু দুইটি পরমাণুতে গঠিত (diatomic molecules), তাহাদের $\gamma=1{\cdot}40$। অতএব বায়ুতে

$$c=\sqrt{1{\cdot}40P/\rho} \qquad (3\text{-}4.2)$$

এই সমীকরণ অনুসারে লব্ধ c-র মান পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে ভাল মেলে।

(নিচে 5নং প্রশ্ন দেখ।)

উষ্ণতা স্থির থাকিলে P/ρ অনুপাত স্থির থাকে বলিয়া শব্দের বেগ গ্যাসের চাপের উপর নির্ভর করে না।

অনুশীলনী

1. শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ—ইহার সমর্থনে প্রমাণ দাও। শব্দতরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ বলিতে কি বুঝায় ?

2. স্বনক হিসাবে টিউনিং ফর্কের প্রয়োজনীয়তা কি ? টিউনিং ফর্কের কম্পন কি প্রকারের বর্ণনা কর। ফর্কের কোন বাহুর ভর বাড়াইলে বা কমাইলে কম্পাংকের উপর কিরূপ ক্রিয়া হয় ?

3. বায়ুতে শব্দের প্রসারণ কিভাবে হয় বুঝাইয়া বল।

4. গ্যাসে শব্দের বেগের সহিত গ্যাসের চাপ ও ঘনত্বের সম্পর্ক কি ? এই সম্পর্কে বায়ুতে চাপ ও ঘনত্বের মান বসাইয়া নিউটন সঠিক ফল পান নাই, কিন্তু লাপ্লাস পাইয়াছিলেন কেন ? লাপ্লাস শুদ্ধির কারণ কি দেখাইয়াছিলেন ?

5. বায়ুতে $\gamma=1{\cdot}404$, চাপ $=76$ cm পারা ও ঘনত্ব $\rho=0{\cdot}001293$ g/cm^3 হইলে শব্দের বেগ কত ? (পারার ঘনত্ব 13·6 g/cm^3 এবং $g=980$ cm/s^2) [উত্তর : 332 m/s]

6. 78·4 মিটার গভীর একটি কূপে একখণ্ড পাথর ছাড়িয়া দিবার মুহূর্ত হইতে 4·23 সেকেণ্ড পরে পাথর জলে পড়িবার শব্দ শোনা গেল। শব্দের বেগ কত ? ($g=980$ cm/s^2 ধর।) [উত্তর : 341 m/s]

৪ তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
(Reflection and Refraction of Waves)

4-1. শব্দের প্রতিফলন। প্রতিফলন সকল তরঙ্গেরই ধর্ম। তরঙ্গ বিভিন্ন বেগে চলে এরূপ দুই মাধ্যমের বিভেদতল আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় যথেষ্ট বড় হইলে, এবং তলের অসমতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় কম হইলে তরঙ্গ ঐ বিভেদতল হইতে স্পষ্টভাবে আংশিক প্রতিফলিত ও আংশিক প্রতিসৃত হয়। কতটা প্রতিফলিত হইবে ও কতটা প্রতিসৃত হইবে তাহা আপতন কোণের উপর ও মাধ্যমের সংশ্লিষ্ট ধর্মের উপর নির্ভর করে। আলোকতরঙ্গের মত শব্দতরঙ্গও প্রতিফলিত হয়; উভয়ে প্রতিফলনের একই সূত্র মানিয়া চলে। আলোর প্রতিফলনের যত ঘটনা বা প্রয়োগ আমরা দেখিতে পাই শব্দের ক্ষেত্রে ততটা পাই না। ইহার প্রধান কারণ দুইএর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের প্রভেদ। যে আলোকতরঙ্গ চোখে সবচেয়ে বেশী সাড়া জাগায় তাহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় $5{\cdot}5 \times 10^{-5}$ cm। শব্দের ক্ষেত্রে প্রায় 2000 কম্পাংকের শব্দ আমরা সবচেয়ে ভাল শুনি। সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দতরঙ্গের বেগ 350 m/s ধরিলে, ইহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য হয় প্রায় 17·5 cm, অর্থাৎ উপরোক্ত আলোকতরঙ্গের দৈর্ঘ্যের প্রায় তিনলক্ষ গুণ।

প্রতিফলনের জন্য প্রতিফলক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় কয়েকগুণ বড় হওয়া দরকার। কাজেই শব্দের প্রতিফলক কি রকম বড় হইতে হইবে বুঝিতে পার। দীপক হইতে সমান্তরাল আলোক কিরণ যত সহজে পাওয়া যায়, স্বনক হইতে সেরকম পাওয়া বেশ কষ্টসাধ্য। স্বনক শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্যের তুলনায় সাধারণত ছোট হয় বলিয়া শব্দতরঙ্গ গোলীয় (spherical) তরঙ্গের আকারে সবদিকে ছড়ায়। আলো যেকোন অনচ্ছ পদার্থে আটকায়; কিন্তু শব্দ সকল প্রকার পদার্থের ভিতর দিয়াই অল্পবিস্তর যাইতে পারে। তা ছাড়া, দৈর্ঘ্যের জন্য শব্দতরঙ্গ কোন বাধার পাশ কাটাইয়া উহার ছায়া অঞ্চলে সহজেই ঢুকিয়া পড়ে [শব্দের বিবর্তন (diffraction)]। এই সকল কারণে আলোর প্রতিফলনের জ্যামিতিক সূত্রগুলি যত সহজে আমরা দেখাইতে পারি, শব্দের ক্ষেত্রে তাহা সম্ভব হয় না। তবে যথেষ্ট ছোট শব্দতরঙ্গ সৃষ্টি করিয়া সমতল বা গোলীয় তলে শব্দের প্রতিফলনের পরীক্ষাগুলি করা সম্ভব।

প্রতিফলকের অসমতলতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক কম থাকিতে হইবে বলিয়া শব্দের প্রতিফলক আলোর প্রতিফলকের মত মসৃণ হওয়ার দরকার নাই। এজন্য দেওয়াল, বাড়ীঘর, তরুশ্রেণী, পাহাড় প্রভৃতি হইতেও শব্দ প্রতিফলিত হইতে পারে।

4-1.1. প্রতিধ্বনি (Echo)। আমাদের কাছে শব্দের প্রতিফলনের সবচেয়ে পরিচিত উদাহরণ হইল প্রতিধ্বনি (Echo)। শব্দের রেশ কানে প্রায় $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড থাকিয়া যায়। প্রতিফলিত শব্দকে মূল শব্দ হইতে আলাদা বলিয়া বুঝিতে হইলে

উহাকে মূলশব্দ শেষ হইবার অন্তত $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পরে শ্রোতার কাণে আসিয়া পৌঁছিতে হইবে। অতএব পিস্তলের আওয়াজের মত স্বল্পস্থায়ী শব্দের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে, সোজাপথে মূল শব্দ যখন শ্রোতার কানে পৌঁছায় প্রতিধ্বনিকে তাহার চেয়ে অন্তত $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পরে পৌঁছিতে হইবে। c শব্দের বেগ হইলে, মূল ও প্রতিফলিত শব্দের পথের দৈর্ঘ্যের ব্যবধান মূল শব্দের পথের দৈর্ঘ্যের চেয়ে অন্তত $c/10$ বেশী হইতে হইবে। $c = 350$ m/s হইলে এবং স্বনক ও শ্রোতা একই জায়গায় থাকিলে প্রতিফলক অন্তত $c/20 = 17{\cdot}5$ m দূরে থাকিতে হইবে।

আমরা সাধারণত সেকেণ্ডে 5টি শব্দাংশ (syllable) স্পষ্টভাবে উচ্চারণ করিতে পারি। পাঁচটি শব্দাংশের কথার স্পষ্ট প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে শব্দ শেষ হইবার অন্তত $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পরে প্রথম শব্দাংশের প্রতিধ্বনি কানে আসিতে হইবে। প্রথম শব্দাংশ ইহাতে মোট 1·1 সেকেণ্ড চলিবার সময় পাইবে। অতএব বক্তাই শ্রোতা হইলে ও শব্দের বেগ 350 m/s ধরিলে স্বনক হইতে প্রতিফলক অন্তত $\frac{1}{2}.\ 350 \times 1{\cdot}1 =$ প্রায় 193 মিটার দূরে থাকিবে।

প্রশ্ন। দুইটি সমান্তরাল পাহাড়ের ফাঁকে দাঁড়ান একজন লোক বন্দুক ছুড়িয়া $2\frac{1}{2}$ ও $3\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে দুটি প্রতিধ্বনি শুনিতে পান। শব্দের বেগ 330 m/s হইলে দুই পাহাড়ের দূরত্ব কত? তৃতীয় প্রতিধ্বনি শ্রোতা কখন শুনিতে পাইবেন? [উ ঃ 990 m ; গুলি ছুড়িবার 6 সেকেণ্ড পরে।]

4-1.2. অনুরণন (Reverberation)। বড় হলঘরের ভিতরে শব্দ করিলে অনেক সময় একটা গমগম শব্দ শোনা যায় এবং উহা মিলাইয়া যাইতে কিছু সময় নেয়। শব্দ বিভিন্ন দেওয়ালে বার বার প্রতিফলিত হইয়া কানে আসে, এবং প্রতিফলকের দূরত্ব স্পষ্ট প্রতিধ্বনি শোনার মত যথেষ্ট নয় বলিয়া এরকম হয়। এই ঘটনাকে 'অনুরণন' (Reverberation) বলে। ক্লাশঘর, বক্তৃতা করার হল, থিয়েটার বা সিনেমার হলে বেশীক্ষণ অনুরণন অবাঞ্ছিত। অনুরণন-কাল যথেষ্ট কমাইবার জন্য বিশেষ ব্যবস্থা করা দরকার। ঘরে অনেক খোলা জানালা থাকিলে শব্দ জানালা দিয়া বাহির হইয়া যায় ; প্রতিফলিত হইয়া অনুরণন সৃষ্টি করার সুযোগ পায় না। অন্যথায় ঘরে ভারী পর্দা ঝুলান থাকিলে শব্দ উহাতে দ্রুত অবমন্দিত (damped) হওয়ায় অনুরণন কমে।

মেঘগর্জনের পর অনেক সময় মেঘের গুরুগুরু শব্দ কিছুক্ষণ ধরিয়া চলিতে থাকে। ইহাও অনুরণন। মেঘের বিভিন্ন স্তর, বিভিন্ন উষ্ণতার বায়ুস্তর, পাহাড়, তরুশ্রেণী, বাড়ীঘর প্রভৃতি হইতে মূল গর্জনের শব্দ প্রতিফলিত হইয়া সময়ের অতি অল্প ব্যবধানে কিছুক্ষণ ধরিয়া কানে আসিয়া পৌঁছিতে থাকে। ইহাতে শব্দ একটানা বলিয়া মনে হয়।

4-1.3. প্রতিধ্বনির সাহায্যে জলের গভীরতা নির্ণয় (Echo depth sounding)। সমুদ্রে বিভিন্ন স্থানে জলের গভীরতা মাপা নৌচালন বিদ্যার (Navigation-এর) একটা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় অঙ্গ। সমুদ্রে জাহাজ হইতে জলের নিচের দিকে স্বল্পক্ষণস্থায়ী হ্রস্বতরঙ্গদৈর্ঘ্যের জোরাল শব্দ চালনা করা হয়। সমুদ্রের

অধস্তল (Sea bed) হইতে উহার প্রতিধ্বনি কতক্ষণ পরে শব্দের উৎপত্তি স্থানে ফিরিয়া আসে তাহা স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রে লিপিবদ্ধ করা হয়। সমুদ্রের জলে বিভিন্ন উষ্ণতায় শব্দের বেগ জানা থাকায়, এই সময় হইতে জলের গভীরতা জানা যায়।

4-2. শব্দের প্রতিসরণ (Refraction of sound)। শব্দতরঙ্গ দুই মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হইলে আলোর মত উহার এক অংশ প্রথম মাধ্যমে প্রতিফলিত হয় ও বাকী অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিয়া ভিন্ন বেগে চলে। দ্বিতীয় ঘটনাটি শব্দের প্রতিসরণ। শব্দের প্রতিসরণের জ্যামিতিক সূত্র আলোর প্রতিসরণের মতই। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রভেদের জন্য আলোতে প্রতিসরণের যে সব পরীক্ষা করা যায়, শব্দে তাহা করা অসুবিধা। কিন্তু উভয় ক্ষেত্রে একই রকম ঘটনা ঘটে। আলোর মত শব্দের ক্ষেত্রে

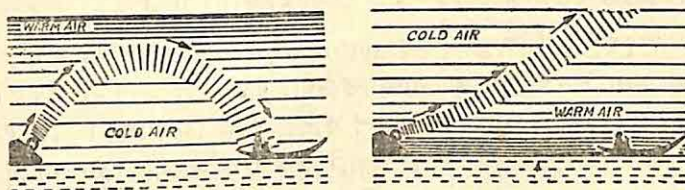
$$\text{প্রতিসরাংক (Refractive index)} = \frac{\text{প্রথম মাধ্যমে শব্দের বেগ } (c_1)}{\text{দ্বিতীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ } (c_2)}।$$

আলোর মত শব্দেও, যে মাধ্যমে বেগ কম তাহাকে ঘনতর মাধ্যম এবং যে মাধ্যমে বেগ বেশী তাহাকে লঘুতর মাধ্যম বলা হইবে। বায়ুতে শব্দের বেগ তরল বা কঠিন পদার্থে শব্দের বেগের চেয়ে কম। কাজেই শুনিতে অদ্ভুত হইলেও শব্দের ক্ষেত্রে বায়ু ধাতু বা জলের চেয়ে ঘনতর মাধ্যম।

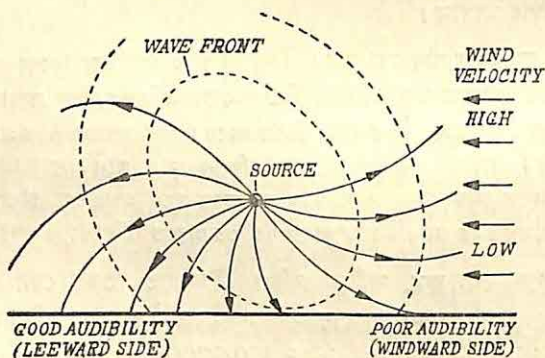
শব্দতরঙ্গের জন্য লেন্স্ গঠন করা যায়। কিন্তু ইহার কার্যকারিতা বিশেষ নাই। দুই মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত শব্দতরঙ্গের কতটা প্রতিফলিত ও কতটা প্রতিসৃত হইবে, তাহা মাধ্যমের ঘনত্ব ρ এবং মাধ্যমে শব্দের বেগ c-র গুণফল ρc-র উপর নির্ভর করে। দুই মাধ্যমে ρc-র প্রভেদ বেশী হইলে শব্দ প্রতিফলিত হয় বেশী। বায়ুতে ρc-র মান প্রায় 41 সিজিএস্ একক, জলে প্রায় 1500। কঠিনে ρc আরও বেশী। কাজেই বায়ুতে চলন্ত কোন শব্দ কঠিন বা তরল পৃষ্ঠে আপতিত হইলে উহার অধিকাংশই প্রতিফলিত হয়; প্রতিসৃত হয় কম। কঠিন বা তরল হইতে বায়ুতে প্রতিসরণেও একই প্রকার ঘটনা ঘটে।

বায়ুতে শব্দের বেগ কম, কঠিনে বেশী। ইস্পাতে শব্দের বেগ প্রায় 5200 m/s এবং বায়ুতে ধর 350 m/s। ইহাতে বায়ু হইতে ইস্পাতে প্রতিসরণের ক্রান্তিক বা সংকট কোণ (critical angle) হয় $\sin^{-1} 350/5200 =$ প্রায় 4°। তাছাড়া, ইস্পাতের ρc বায়ুর ρc-র তুলনায় অনেক বেশী হওয়ায় ইহার চেয়ে ছোট কোণে আপতিত শব্দ-তরঙ্গও প্রতিফলিত হয় খুব বেশী। এই দুই কারণে ইস্পাতে (বা অন্য যে কোন ধাতুতে) তৈয়ারী নলের সাহায্যে অনেক দূর হইতেও স্পষ্ট কথা শোনা যায়।

4-2.1. বায়ুমণ্ডলে শব্দের প্রতিসরণ (Atmospheric refraction)। ভূপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতার সহিত বায়ুর উষ্ণতা বদলাইলে, বা বায়ুপ্রবাহ থাকিলে বায়ুতে শব্দের প্রতিসরণ ঘটে। রাত্রে নদীর তীরে দাঁড়াইয়া চিৎকার করিলে অনেক দূরবর্তী নৌকা হইতেও তাহা শোনা যায়; কিন্তু দিনের বেলা তাহা হয় না। রাত্রে জলের কাছে বায়ুর উষ্ণতা কম, উপরের দিকে ক্রমশ বেশী। উষ্ণতর বায়ুতে শব্দ দ্রুততর চলে। অতএব তরঙ্গাগ্রের উপরের দিকের অংশ নিচের অংশের চেয়ে তাড়াতাড়ি চলে। ইহাতে ঊর্ধ্বগামী তরঙ্গাগ্র নিচের দিকে বাঁকে (4·1*a* চিত্র); ফলে শব্দ অনেক দূরেও শোনা যায়। শব্দতরঙ্গের এই ক্রিয়া ঊর্ধ্ব মরীচিকার (Superior mirage-এর)

সঙ্গে তুলনীয়। দিনের বেলা জলের কাছে উষ্ণতা বেশী এবং উপরে কম। ফলে নিচের বায়ুস্তরে শব্দের বেগ বেশী ও উপরে কম হয়। এরূপ হওয়ায় তরঙ্গাগ্রের নিচের

চিত্র 4·1

দিক তাড়াতাড়ি আগায়, ও তরঙ্গাগ্র বাঁকিয়া উপরে উঠিয়া যায়। ইহাতে শব্দ বেশী দূরে শোনা যায় না (4·1*b* চিত্র)।

বায়ুপ্রবাহ থাকিলে প্রবাহের দিকে শব্দ যতদূর অবধি শোনা যায়, প্রবাহের বিপরীত দিকে ততদূরে যায় না। বায়ুপ্রবাহের বেগ সাধারণত ভূ-পৃষ্ঠের কাছে কম, উপরে

চিত্র 4·2

বেশী। ইহার ফলে প্রবাহের দিকে তরঙ্গাগ্রের উপরের অংশ নিচের অংশের চেয়ে তাড়াতাড়ি চলে, এবং তরঙ্গাগ্র নিচের দিকে বাঁকে। প্রবাহের বিপরীতে ক্রিয়াও বিপরীত হয়; তরঙ্গাগ্র উপরের দিকে ওঠে (4·2 চিত্র)। শব্দরশ্মিগুলি তরঙ্গাগ্রের অভিলম্ব বলিয়া প্রবাহের অভিমুখে ঊর্ধ্বগামী রশ্মি নিচে বাঁকিয়া বেশী দূরে যাইতে পারে। অতএব প্রবাহের দিকে শব্দ বেশী দূর অবধি শোনা যায়। প্রবাহের বিপরীতে রশ্মি উপরের দিকে যাওয়ায় শব্দ বেশী দূরে শোনা যায় না।

অনুশীলনী

1. শব্দতরঙ্গ প্রতিফলনের কি জ্যামিতিক সূত্র মানিয়া চলে? এই সূত্র পরীক্ষার সাহায্যে দেখাইবার অসুবিধা কি? প্রতিফলনের কোন ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

2. প্রতিধ্বনি কাহাকে বলে? স্পষ্ট প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে প্রতিফলক একটা অবম দূরত্বে থাকা দরকার হয় কেন? প্রতিধ্বনির সাহায্যে জলের গভীরতা কিভাবে মাপা যায়?

3. প্রতিধ্বনি ও অনুরণনে প্রভেদ কি? অনুরণনের উদাহরণ দাও ও যে উদাহরণ দিলে তাহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

4. শব্দের প্রতিসরণের জ্যামিতিক সূত্রগুলি কি কি?

শব্দের ক্ষেত্রে বায়ু জলের চেয়ে ঘনতর মাধ্যম—একথা বলার অর্থ কি? বায়ুতে শব্দের বেগ 340 m/s ও জলে 1500 m/s হইলে প্রতিসরণের সংকট কোণ কত হইবে?

5. দিনের বেলা নদীর ধারে দাঁড়াইয়া চিৎকার করিলে সে শব্দ জলের উপরে যতদূর যায়, রাতে তাহার চেয়ে বেশী দূর যায় কেন?

6. বায়ুতে প্রবাহ থাকিলে প্রবাহের অভিমুখে শব্দ বেশী দূর যায়; কিন্তু প্রবাহের বিপরীত দিকে বেশী দূর যায় না। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

এই ঘটনার সঙ্গে প্রতিসরণের কি সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য আছে? [সংকেত—প্রতিসরণে দ্বিতীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ আলাদা থাকে। এখানে মাধ্যম একই; কিন্তু মাধ্যমের বিভিন্ন স্তরে মাধ্যমের বেগ আলাদা থাকায় শব্দের আপাত বেগ আলাদা হয়।]

৫ ‖ তরঙ্গের উপরিপাত
(Superposition of waves)

5-1. তরঙ্গের উপরিপাত সূত্র (Principle of superposition of waves)। একই ঘরে বসিয়া ২।৩ জন লোক একসঙ্গে কথা বলিলে শব্দতরঙ্গগুলি মাধ্যমের একই অংশ দিয়া একই সময়ে যায়। কিন্তু ইহাতে কাহারও কথা বিকৃত হয় না, প্রত্যেকের কথাই স্পষ্ট বোঝা যায়। ঘরের এক দেওয়াল হইতে অন্য দেওয়ালে লাল আলো, এবং তৃতীয় দেওয়াল হইতে চতুর্থ দেওয়ালে নীল আলো ফেলা গেল। দুই আলোককিরণ একে অন্যের মধ্য দিয়া গেলেও এক দেওয়ালে লাল ও অন্য দেওয়ালে নীল আলোই দেখা যাইবে। মাঝখানে দুই আলোকতরঙ্গ একে অন্যের উপরে পড়িলেও কেহ কারো ক্রিয়ায় ব্যাঘাত জন্মায় না। এই জাতীয় ঘটনা হইতে দেখা যায় এক শব্দতরঙ্গ অন্য তরঙ্গের উপর পড়িলেও, একটিতে অন্যটির ক্রিয়ায় ব্যাঘাত জন্মায় না।

মাধ্যমের যে অংশে একাধিক তরঙ্গ একে অন্যের উপরে পড়ে, সেখানে মাধ্যমের কণার বিচলন হিসাব করিতে আমরা তরঙ্গের উপরিপাত সূত্রের সাহায্য লই। শব্দের ক্ষেত্রে এই সূত্রে বলে

"উপরিপাতিত বিভিন্ন শব্দতরঙ্গের বিস্তার (amplitude) কম হইলে, প্রত্যেক তরঙ্গ একা ক্রিয়া করিলে মাধ্যম কণার যে বিচলন হইত, সকল তরঙ্গের ক্রিয়ায় কণার বিচলন তাহাদের ভেক্টর (vector) যোগফলের সমান হইবে।"

শব্দের ক্ষেত্রে বিস্তার বেশী হইলে (অর্থাৎ প্রবল শব্দের ক্ষেত্রে) ইহার ব্যতিক্রম ঘটে। কিন্তু যে প্রাবল্যে ও যে অবস্থায় ইহা ঘটে তাহার আলোচনা আমরা করিব না।

শব্দতরঙ্গের গতি যে দিকেই হউক বা উহার কম্পাংক যাহাই হউক না কেন, উপরিপাত সূত্র সকল ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য হইবে। তবে আমাদের আলোচনা একই রেখায় গতি এবং একই বা কাছাকাছি কম্পাংকের তরঙ্গের উপরিপাতে আবদ্ধ থাকিবে। এরূপ তিনটি উপরিপাতের ঘটনা আমাদের কাছে মুল্যবান। ইহারা হইল (১) স্বরকম্প (Beats), (২) স্থির বা স্থাণু তরঙ্গ (Stationary waves) ও (৩) ব্যাতিচার (Interference)।

5-2. স্বরকম্প (Beats)। কাছাকাছি কম্পাংক ও প্রাবল্যের দুইটি স্বরের উপরিপাতে লব্ধ স্বরের প্রাবল্য নিয়মিত ভাবে বাড়ে ও কমে। এই ঘটনাকে স্বরকম্প বলে। প্রাবল্যের একবার বৃদ্ধি ও একবার হ্রাস লইয়া একটি 'স্বরকম্প' (Beat)। প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা দুই শব্দের কম্পাংকের প্রভেদের সমান।

স্বরকম্প স্পষ্ট শোনার শর্ত। স্বরকম্প স্পষ্ট শুনিতে পাইতে হইলে

(১) দুই শব্দের কম্পাংকের প্রভেদ কম থাকিতে হইবে।

(২) উভয় স্বনক একই জাতীয় হইবে।

(৩) উভয় শব্দের প্রাবল্য প্রায় সমান হইতে হইবে।

কম্পাংকের প্রভেদ 1-এর কম হইতে আরম্ভ করিয়া প্রায় 5-6 পর্যন্ত হইলে স্বরকম্প শুনিতে খারাপ লাগে না। সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা 6-এর বেশী হইলে উহা শুনিতে অপ্রীতিকর হইতে থাকে। 10-এর বেশী হইলে স্বরকম্পগুলি আলাদা করিয়া বোঝা যায় না, কিন্তু শব্দ অপ্রীতিকর লাগে। 30-এ উহা সবচেয়ে অপ্রীতিকর মনে হয়। স্বরকম্পের সংখ্যা আরও বেশী হইলে উহাকে আলাদা একটি স্বর বলিয়া মনে হয়; ইহাকে 'বীট নোট' (Beat note) বলে।

দুই শব্দে প্রাবল্যের অনেক তফাত থাকিলে স্বরকম্পে প্রাবল্য বাড়া কমা ভাল বোঝা যায় না। ভিন্ন জাতীয় স্বনকে (যাহাদের কোয়ালিটিতে* প্রভেদ অনেক বেশী) স্বরকম্প ঠিকমত বোঝা বেশ অসুবিধা হইতে পারে।

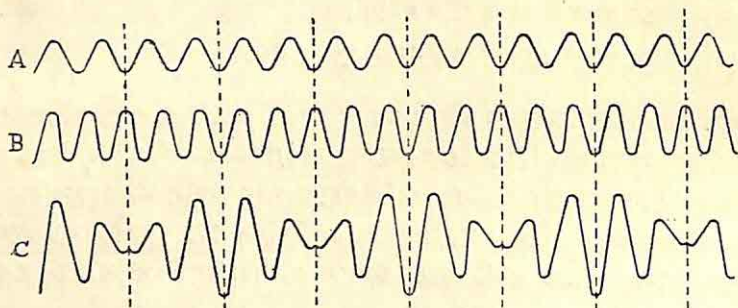
5-2.1 স্বরকম্প শুনাইবার ব্যবস্থা (Demonstration of beats)। একই কম্পাংকের দুটি টিউনিং ফর্ক নিয়া স্বরকম্প শুনান সহজ। ফর্কের এক বাহুতে এক বা একাধিক পাক তার পেঁচাইয়া বা অন্যভাবে (ধর, মোম লাগাইয়া) উহাকে, ভারী করিলে উহার কম্পাংক কমে। বাহুর নিচের দিকে ভার রাখিলে কম্পাংক যতটা কমে, বাহুর উপরের দিকে ভার রাখিলে কম্পাংক কমে আরও বেশী।

একটি ফর্কের এক বাহুতে নিচের দিকে, কিন্তু নোড (Node)-এর উপরে (3-2.1 উপবিভাগ দেখ) এক পাক তার পেঁচাইয়া উভয় ফর্ক একসঙ্গে বাজাইলে মন্থর স্বরকম্প হইবে। তার ক্রমশ উপরের দিকে তুলিলে স্বরকম্প দ্রুততর হইবে। তারের পেঁচের সংখ্যা বাড়াইয়া বা মোটা তার ব্যবহার করিয়া সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা আরও বাড়ান যায়।

5-2.2. স্বরকম্প ঘটিবার ব্যাখ্যা (Explanation of formation of beats)। ধরা যাক একটি স্বরের কম্পাংক m ও অন্যটির $m+n$, এবং শব্দের বেগ c। অতএব c দৈর্ঘ্যের মধ্যে প্রথম স্বরের m সংখ্যক ও দ্বিতীয় স্বরের $m+n$ সংখ্যক তরঙ্গ আছে। দুই স্বরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে $c/m=\lambda_1$ ও $c/(m+n)=\lambda_2$। কোন নির্দিষ্ট মুহূর্তে মনে কর l দূরত্ব পর পর দুই তরঙ্গের শীর্ষ বা পাদ উপরিপাতিত হওয়ায়

---

* শব্দের 'Quality' বুঝাইতে 'গুণ' কথাটি ব্যবহার করা যুক্তিযুক্ত নয়। শব্দের ক্ষেত্রে 'Quality' কথাটি অত্যন্ত বিশেষার্থক। 'গুণ' ইংরেজী 'quality' কথাটির আভিধানিক অর্থ। 'গুণ' বলিলে বিশেষ অর্থের কথা মনে আসে না। সঙ্গীতশাস্ত্রের 'জাতি' কথাটি শব্দের 'Quality' বুঝাইতে ব্যবহার করা যায়।

কণার বিচলন চরম হয় (5·1 চিত্র)। উহার অর্ধেক দূরত্বে একের তরঙ্গ শীর্ষ অন্যের তরঙ্গপাদে উপরিপাতিত হইয়া কণার বিচলন অবম করিবে।

চিত্র 5·1

[A ও B দুই স্বরের তরঙ্গ। C উভয়ের উপরিপাতে সৃষ্ট তরঙ্গ। ভাঙ্গা রেখায় দুই তরঙ্গ-শীর্ষের উপরিপাতের বা এক তরঙ্গশীর্ষ ও এক তরঙ্গপাদের উপরিপাতের স্থান চিহ্নিত হইয়াছে।]

l দূরত্বের মধ্যে প্রথম স্বরের ν (গ্রীক অক্ষর ; উচ্চারণ 'নিউ') সংখ্যক তরঙ্গ থাকিলে দ্বিতীয়ের থাকিবে $\nu+1$ সংখ্যক তরঙ্গ। অতএব

$$l=\nu\lambda_1=(\nu+1)\lambda_2 \text{ বা } \nu=\lambda_2/(\lambda_1-\lambda_2)।$$

উভয় তরঙ্গ c বেগে চলে বলিয়া এই চরম ও অবম বিচলনও c বেগে আগাইবে। c দূরত্বের মধ্যে c/l সংখ্যক চরম বিচলনের অবস্থান থাকিবে। অতএব স্থির শ্রোতার কানে প্রতি সেকেণ্ডে $N=c/l$ সংখ্যক চরম বিচলন এবং সমান সংখ্যক অবম বিচলন পৌঁছিবে। চরম বিচলনে প্রাবল্য সবচেয়ে বেশী, অবম বিচলনে সবচেয়ে কম। একটি চরম বিচলন ও একটি অবম বিচলন লইয়া একটি স্বরকম্প হইবে। অতএব সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা

$$N=\frac{c}{l}=\frac{c}{\nu\lambda_1}=\frac{c}{\lambda_1\lambda_2}(\lambda_1-\lambda_2)=c\left(\frac{1}{\lambda_2}-\frac{1}{\lambda_1}\right)$$
$$=(m+n)-m=n।$$

ইহা দুই স্বরের কম্পাংকের প্রভেদ।

5-2.3. স্বরকম্প গণিয়া কম্পাংক নির্ণয় (Determination of frequency by counting beats)। দুটি টিউনিং ফর্কে স্বরকম্প ঘটিতে পারিলে একের কম্পাংক জানা থাকিলে অন্যটির কম্পাংক জানা যায়। ধর, ফর্ক দুটির কম্পাংক n_1 ও n_2 এবং n_1 জানা। এক্ষেত্রে স্বরকম্পের সংখ্যা n হইলে $n_2=n_1\pm n$ হইবে। এখানে + ও − চিহ্নের কোন্‌টি নিতে হইবে তাহা কি ভাবে ঠিক করা যায়? আগে বলা হইয়াছে ফর্কের এক বাহুতে ভার বাড়াইলে কম্পাংক কমে। ফর্কের নোড (Node ; 3-2.1 উপবিভাগ দেখ) হইতে ভার ক্রমশ উপরের দিকে তুলিয়া কম্পাংক

ক্রমশ কমান যায়। অজানা কম্পাংকের ফর্কের এক বাহুতে ভার অল্প বাড়াইলে যদি স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়ে, তাহা হইলে নিশ্চয়ই n_2 ছোট ও n_1 বড় ছিল ($n_2 < n_1$)। এ ক্ষেত্রে $n_2 = n_1 - n$। অন্যথায়, অর্থাৎ স্বরকম্পের সংখ্যা কমিলে n_2 বড় ও n_1 ছোট ছিল ($n_2 > n_1$); অতএব $n_2 = n_1 + n$ হইবে। (ফর্কের এক বাহু ঘষিয়া হালকা করিলে ফর্কের কম্পাংক বাড়ে।)

5-3. স্থির-তরঙ্গ বা স্থাণু-তরঙ্গ (Stationary or Standing waves)। দুইটি একই কম্পাংকের তরঙ্গ একই রেখায় বিপরীত দিক হইতে আসিয়া উপরিপাতিত হইলে উহাদের যৌথ ক্রিয়ায় মাধ্যমের উপরিপাতিত অংশে যে প্রকার ক্রিয়া হয় তাহাকে 'স্থির-তরঙ্গ' বা 'স্থাণু-তরঙ্গ' বলে। (ষষ্ঠ ও সপ্তম পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।)

সীমাবদ্ধ মাধ্যমে প্রায়ই স্থির-তরঙ্গ দেখিতে পাওয়া যায়। সীমাবদ্ধ মাধ্যমে নিয়মিত কম্পনে তরঙ্গ সৃষ্টি করিয়া চলিলে, মাধ্যমের সীমানায় পৌঁছিয়া প্রতিফলিত হইয়া উহারা মূল তরঙ্গগুলির উপর আপতিত হয়। সীমানায় আপতন তরঙ্গগতির অভিলম্বে হইয়া থাকিলে, এবং প্রতিফলনে তরঙ্গের বিস্তার বিশেষ না কমিয়া থাকিলে, স্থির-তরঙ্গ খুব স্পষ্ট দেখা যায়। আমরা এইরূপ স্থির-তরঙ্গের কথাই আলোচনা করিব।

5-3.1. স্থির-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of stationary waves)। স্থির-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি নিচে বলা হইল।

(১) তরঙ্গগতির রেখায় মাধ্যমের কতকগুলি সমদূরবর্তী বিন্দুতে কোন রকম স্পন্দন দেখা যায় না; উহারা সব সময়ই স্থির থাকে। ইহাদের 'নিস্পন্দ বিন্দু' বা 'নোড' (Node) বলে। পর পর দুই নোডের মধ্যে দূরত্ব উপরিপাতিত তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক ($\frac{1}{2}\lambda$)। (উভয় তরঙ্গের বিস্তার সমান না হইলে নোডে কিছু বিচলন দেখা যায়।)

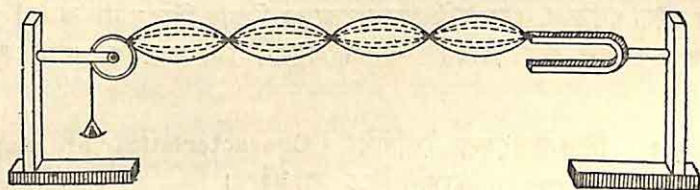
(২) এক নোড হইতে পরের নোডের মধ্যবর্তী কণাগুলি সমদশায় স্পন্দিত হয় এবং উহাদের বিস্তার ক্রমশ বাড়িয়া দুই নোডের ঠিক মধ্যবিন্দুতে চরম হয়। চরম বিস্তারের বিন্দুগুলিকে 'সুস্পন্দ বিন্দু' বা 'অ্যান্টিনোড' (Antinodes) বলে। পর পর দুই অ্যান্টিনোডের মধ্যে দূরত্ব $\frac{1}{2}\lambda$ অর্থাৎ আপতিত যে কোন তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক।

(৩) উপরিপাতের রেখায় নোড ও এ্যান্টিনোড একান্তর (alternating) অবস্থায়, অর্থাৎ একের পর অন্যটি থাকে। এক নোড হইতে উহার যে কোন পাশের পরবর্তী অ্যান্টিনোড পর্যন্ত দূরত্ব $\frac{1}{4}\lambda$।

(৪) পর পর দুই নোডের মধ্যবর্তী অংশ (ইহাকে Loop-ও বলে) সমদশায় স্পন্দিত হয়। উহার সব কণাগুলি একই সময় চরম অবস্থানে যায় বা একই সময় সাম্য অবস্থানে আসে। কিন্তু যে কোন নোডের দুপাশের লুপ বিপরীত দশায় থাকে, অর্থাৎ নোডের এক পাশের লুপের বিচলন যে দিকে, অন্য পাশের বিচলন তাহার বিপরীতে।

(৫) উপরিপাতিত তরঙ্গের কম্পাংক ও স্থির-তরঙ্গে মাধ্যমের কণার কম্পাংক সমান।

কেবল উপরিপাতিত অঞ্চলেই এই সকল বৈশিষ্ট্য সীমাবদ্ধ থাকে। প্রগামী (progressive) তরঙ্গের মত উপরোক্ত বৈশিষ্ট্যযুক্ত কম্পন মাধ্যমে আগাইয়া যায় না বলিয়াই ইহাকে স্থির-তরঙ্গ বা স্থাণু-তরঙ্গ বলে।

5-3.2. সুতায় বা তারে স্থির-তরঙ্গ দেখানঃ মেল্‌ডির পরীক্ষা (Demonstration of stationary waves : Melde's experiment)। সুতায় বা সরুতারে স্থির-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি সুন্দর ভাবে দেখাইবার একটি উপায় মেল্‌ডি (Melde) উদ্ভাবন করিয়াছিলেন (5·2 চিত্র)। একগাছা সুতার একপ্রান্ত অল্প কম্পাংকের (ধর 64 হার্ৎস্*) একটি টিউনিং ফর্কের এক বাহুর মাথায় আটকান। অন্য প্রান্ত একটি পুলি (Pulley)-র উপর দিয়া ঘুরাইয়া একটি পাত্রের সঙ্গে বাঁধা। পাত্রে ইচ্ছামত ভার চাপান যায়। পুলি ও ফর্কের দূরত্ব ইচ্ছামত বাড়ান কমান যায়।

চিত্র 5·2

ফর্কের কম্পন যাহাতে সুতার দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি হয় ফর্ককে ষ্ট্যাণ্ডে সেই ভাবে বসাইতে হয়। যে ফর্কের কম্পন বৈদ্যুতিক উপায়ে অব্যাহত রাখা যায়, সেই রকম ফর্ক ব্যাবহার করা সুবিধার।

পাত্রে খানিকটা ভার চাপাইয়া ফর্ক কাঁপিতে থাকা কালে সুতার দৈর্ঘ্য বাড়াইয়া বা কমাইয়া সম্পূর্ণ সুতাগাছা এক খণ্ডে (Loop-এ) কাঁপান যায়। ভার চতুর্থাংশ করিলে সুতা দুইখণ্ডে কাঁপে; ভার 1/9 করিলে সুতায় তিনটি লুপ পাওয়া যায়।

সুতায় এরকম কম্পন কেন হয় দেখা যাক। ফর্ক সুতার এক প্রান্তকে সুতার আড়াআড়ি কাঁপায়। ইহাতে সুতা বাহিয়া অনুপ্রস্থ তরঙ্গ চলে। পুলিতে পৌঁছিয়া তরঙ্গ প্রতিফলিত হয় ও মূল তরঙ্গের উপর আপতিত হয়। ফর্কের কম্পন অব্যাহত থাকিলে মুল ও প্রতিফলিত তরঙ্গের উপরিপাত চলিতে থাকে ও স্থির-তরঙ্গ সৃষ্টির শর্ত পূর্ণ হয়। মূল তরঙ্গের বেগ সুতায় টান (tension) ও উহার একক দৈর্ঘ্যের ভরের (ইহাকে সুতার 'রৈখিক ঘনত্ব' বা linear density-ও বলে) উপর নির্ভর করে।

---

* সেকেণ্ডে একটি কম্পনকে এক হার্ৎস্ (Hertz ; চিহ্ন Hz) বলে। কম্পন সংখ্যার একক বুঝাইতে cps (cycles per second), vps (vibrations per second) কথাগুলিও ব্যবহৃত হইয়া আসিয়াছে।

পাত্রস্থ ভার ও সুতার দৈর্ঘ্য বাড়াইয়া কমাইয়া সুতার মোট দৈর্ঘ্য l-কে অর্ধতরঙ্গদৈর্ঘ্যের ($\frac{1}{2}\lambda$-র) পূর্ণগুণিতক করা হয়, অর্থাৎ দুই-এ সম্পর্ক হয় $l=\frac{1}{2}n\lambda$, $n=$পূর্ণ সংখ্যা।

কম্পন দ্রুত বলিয়া সুতার বিভিন্ন সময়ের অবস্থান আলাদা করিয়া বোঝা যায় না। অবম বিচলনের দুই অবস্থানের মধ্যের অংশে সুতাগাছা আবছা একটানা দেখা যায়। নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুগুলি (nodes and antinodes) স্পষ্ট বোঝা যায়। সব লুপের দৈর্ঘ্য সমান তাহাও মাপিয়া দেখা যায়। ইহা অর্ধতরঙ্গ দৈর্ঘ্য ($\frac{1}{2}\lambda$)।

5-3.3. গণিতের সাহায্যে স্থির-তরঙ্গের ব্যাখ্যা (Mathematical analysis of stationary waves)। মনে কর a বিস্তারের ও λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুইটি তরঙ্গ X-অক্ষে c বেগে চলিতে চলিতে বিপরীত দিক্ হইতে আসিয়া উপরিপাতিত হইয়া স্থির-তরঙ্গের সৃষ্টি করিয়াছে। তরঙ্গদুটির ক্রিয়ায় মাধ্যমের x বিন্দুতে অবস্থিত কণার বিচলনের সমীকরণ হইবে (2-3.1 ও 2-3.4 সমীকরণ দেখ)

$$y_1=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct-x) \text{ ও } y_2=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct+x)\text{।}$$

(X-অক্ষে মূলবিন্দু $x=0$ এমন নেওয়া হইয়াছে যে সেখানে $t=0$ মুহূর্তে $y_1=y_2=0$ হয়।) উপরিপাত সূত্র অনুসারে উভয় তরঙ্গের ক্রিয়ায় কণার বিচলন

$$y=y_1+y_2=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct-x)+a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(ct+x)$$

$$=2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\sin\frac{2\pi ct}{\lambda}=A\sin\omega t. \quad (5\text{-}3.1)$$

এখানে $A=2a\cos(2\pi x/\lambda)$ এবং $\omega=2\pi c/\lambda$ ধরা হইয়াছে।

দেখা যায় কণার বিচলন সরল দোলীয়। কণার বিস্তার A কণার অবস্থান x-এর উপর নির্ভর করে, এবং উহার কৌণিক কম্পাংক $\omega=2\pi c/\lambda=2\pi n$ উপরিপাতিত তরঙ্গের কৌণিক কম্পাংকের সমান (2-3 বিভাগ ও 1-5.3 সমীকরণ)।

নোড। $\cos(2\pi x/\lambda)=0$ হইলে বিস্তার $A=0$ হইবে। ইহা হইতে হইলে $2\pi x/\lambda=(m-\frac{1}{2})\pi$ হওয়া দরকার ($m=1, 2, 3$ ইত্যাদি পূর্ণ সংখ্যা)।

অতএব $x=(2m-1)\lambda/4$

$\therefore$ $m=1$ হইলে $x_1=\lambda/4$,

$m=2$ হইলে $x_2=3\lambda/4$,

$m=3$ হইলে $x_3=5\lambda/4$,

ইত্যাদি হইবে।

অতএব x_1, x_2, x_3 ইত্যাদি বিন্দুগুলিতে অবস্থিত কণা সব সময়ই নিস্পন্দ থাকিবে। এই বিন্দুগুলিই নিস্পন্দ বিন্দু বা নোড। পর পর দুই নোডে দূরত্ব—

$$x_2-x_1=x_3-x_2=\cdots=\tfrac{1}{2}\lambda.$$

অ্যান্টিনোড। $\cos(2\pi x/\lambda)=\pm1$ হইলে বিস্তার চরম হইবে। ইহাতে $2\pi x/\lambda=m\pi$ ($m=1, 2, 3$, ইত্যাদি) হওয়া দরকার।

$$\therefore\ x=\tfrac{1}{2}m\lambda.$$

এই সমীকরণে m-এর সম্ভাব্য বিভিন্ন মান বসাইলে অ্যান্টিনোড বা সুস্পন্দ বিন্দুগুলির অবস্থান পাওয়া যায়। এভাবে পাই

$$x_1=\tfrac{1}{2}\lambda,\ x_2=\lambda,\ x_3=\tfrac{3}{2}\lambda \text{ ইত্যাদি।}$$

অতএব অ্যান্টিনোডগুলির দূরত্ব

$$x_2-x_1=x_3-x_2=\cdots\cdots=\tfrac{1}{2}\lambda.$$

নোড ও পরবর্তী অ্যান্টিনোডে দূরত্ব। $2\pi x/\lambda = \frac{1}{2}\pi$ একটি নোড। $2\pi x'/\lambda = \pi$ পরবর্তী অ্যান্টিনোড। দুই-এ দূরত্ব $x' - x = \frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{4}\lambda$। ($x$-এর মান ক্রমশ বাড়িলে দশাকোণ $2\pi x/\lambda$-র মানও বাড়িতে থাকে।)

5-4. প্রগামী ও স্থির-তরঙ্গের তুলনা (Comparison between progressive and stationary waves)। এগুলি সারণির আকারে নিচে দেওয়া হইল। তরঙ্গ সমতল (plane) ও সরল দোলীয় (harmonic) ধরা হইবে।

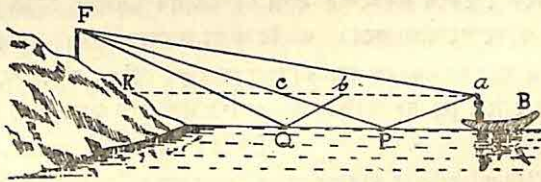
প্রগামী তরঙ্গ	স্থির-তরঙ্গ
(১) প্রগামী তরঙ্গ মাধ্যমের কোন অংশের নিয়মিত কম্পনে উৎপন্ন হয়। কোন বাধা বা সীমার সম্মুখীন না হইলে উহারা প্রগামীই থাকে।	(১) দুইটি একই বিস্তার ও কম্পাঙ্কের তরঙ্গ বিপরীত দিক্ হইতে একই বেগে আসিয়া মাধ্যমের কোন অংশে উপরিপাতিত হইলে সেই অংশে স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি হয়।
(২) তরঙ্গের অগ্রগতির রেখায় এক কণার বিচলনের দশা পরবর্তী কণায় সঞ্চালিত হইতে থাকে। তরঙ্গরূপ (wave form) এইভাবে আগাইয়া যায়। শব্দের তরঙ্গগতির বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ও ঘনত্বের উপর নির্ভর করে।	(২) তরঙ্গরূপ মাধ্যমে আগায় না। মাধ্যমের উপরিপাতিত অঞ্চলে উহা সীমাবদ্ধ থাকে।
(৩) তরঙ্গগতির পথে অবস্থিত প্রতিটি কণা তাহার সাম্য অবস্থানের দুপাশে একই কম্পাংকে এবং একই বিস্তারে দোলে।	(৩) তরঙ্গগতির রেখায় কণাগুলির কম্পাংক একই, কিন্তু বিস্তার সমান নয়। নোডে কম্পন নাই, বিস্তার শূন্য। অ্যান্টি-নোডে বিস্তার চরম।
(৪) তরঙ্গের অগ্রগতির পথে অবস্থিত কণাগুলির বিচলনের মধ্যে দশা-বৈষম্য থাকে। বৈষম্য দুই কণার দূরত্বের আনুপাতিক।	(৪) পর পর দুই নোডের মধ্যস্থিত অংশে সকল কণার বিচলনের দশা একই। এক নোডের দুই পাশের দুই লুপে (Loop-এ) কম্পনের দশা বিপরীত।
(৫) শব্দতরঙ্গের অগ্রগতিতে উহার পথে অবস্থিত মাধ্যমের প্রত্যেক বিন্দুতে চাপ বা ঘনত্বের একই পরিবর্তন হয়।	(৫) চাপ বা ঘনত্বের পরিবর্তন সর্বত্র সমান নয়। নোডে উহা সব চেয়ে বেশী ও অ্যান্টিনোডে সবচেয়ে কম।

5-5. শব্দতরঙ্গের ব্যতিচার (Interference of sound)। একই কম্পাংক ও বিস্তারের দুই প্রস্ত তরঙ্গমালা যদি একই বিন্দুতে সকল সময় বিপরীত দশায় আপতিত হইতে থাকে তবে সে বিন্দুতে মাধ্যমে কোন সময়ই কোন বিচলন হয় না। উহারা যদি সর্বদা একই দশায় আপতিত হয় তবে ঐ স্থানে তরঙ্গের বিস্তার (amplitude) দ্বিগুণ হয় (1-10 বিভাগে $a_1 = a_2$ ধরিয়া দেখ)। শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে

এরূপ ঘটিলে যে তরঙ্গগুলি বিপরীত দশায় পড়ে সেখানে কোন শব্দ শোনা যাইবে না। যেখানে উহারা একই দশায় পড়ে সেখানে মাধ্যমকণার বিস্তার বাড়ে। শব্দের তীব্রতা মাধ্যমকণার বিস্তারের বর্গের আনুপাতিক হওয়ায় বিস্তার দ্বিগুণিত হইলে শব্দের জোর চারগুণ বাড়িবে।

দুই প্রস্ত শব্দতরঙ্গের এরূপ উপরিপাত হইলে তাহাকে শব্দের ব্যতিচার (Interference of sound) বলে। ব্যতিচারে কম্পাংক অবশ্যই সমান হইতে হইবে, কিন্তু বিস্তার সমান না হইলেও হয়। তবে বিস্তার সমান হইলে ব্যতিচারের জন্য দুই স্থানে শব্দের জোরের প্রভেদ খুব স্পষ্ট হয়।

দুইটি আলাদা স্বনক নিয়া ব্যতিচার ঘটান যায় না, কারণ তখন কম্পাংক এক করিলেও একই স্থানে দশার প্রভেদ সর্বদা সমান রাখা সম্ভব হয় না। এজন্য একই স্বনকের শব্দতরঙ্গকে দুই ভাগে ভাগ করিয়া তাহাদের বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের পথ চলিতে দিয়া দশাবৈষম্য ঘটাইয়া তাহাদের (সাধারণত প্রতিফলন বা প্রতিসরণে) আবার উপরিপাতিত করা হয়। এরূপ একাধিক ব্যবস্থা করা যায়। নিচে আমরা মাত্র একটির উল্লেখ করিলাম।

সমুদ্রের উপকূলে যে সব জায়গায় ঘন কুয়াশা হয় তাহার অনেক জায়গায় জাহাজ, নৌকা ইত্যাদিকে সতর্ক করিয়া দিতে উঁচুতে কুয়াশা সাইরেন (Fog siren)

চিত্র 5·3

বসান থাকে। সাইরেন হইতে কার্যত এক কম্পাংকের জোরাল শব্দ বাহির হয়। 5·3 চিত্রে F এরূপ সাইরেনের অবস্থান এবং B কোন নৌকা। কূলের দিকে আসিতে মাঝির কানে দুই পথে সাইরেন হইতে শব্দ আসে—(১) সোজাসুজি, ও (২) জলে প্রতিফলিত হইয়া। দুই শব্দরশ্মির পথবৈষম্য থাকায় দশাবৈষম্যও থাকে। যে সকল স্থানে দুই রশ্মি বিপরীত দশায় মিলিত হয় (ধর চিত্রের a, b, c ইত্যাদি বিন্দুতে), সে সকল স্থানে সাইরেনের শব্দ খুব ক্ষীণ হয় এবং শব্দ প্রায় শুনিতে পাওয়া যায় না। a হইতে b-তে যাইতে শব্দের প্রাবল্য প্রথমে বাড়ে ও পরে কমে।

তরঙ্গদৈর্ঘ্য মাপার সবচেয়ে সূক্ষ্ম উপায় ব্যতিচারের সাহায্যে। ইহাতে λ জানা যায় ; এবং কম্পাংক n জানা থাকিলে বেগ c, বা c জানা থাকিলে n বাহির করা যায়। আলোকতরঙ্গেও ইহা সমভাবে প্রযোজ্য। শব্দতরঙ্গের তুলনায় আলোকতরঙ্গের ক্ষেত্রেই ব্যতিচারের প্রয়োগ বেশী।

অনুশীলনী

1. শব্দতরঙ্গের উপরিপাত সূত্র বলিতে কি বুঝায়? শব্দসংক্রান্ত দুইটি ঘটনার উল্লেখ কর যাহাতে উপরিপাতের ক্রিয়া স্পষ্ট বোঝা যায়।

2. স্বরকম্প কাহাকে বলে? স্পষ্ট স্বরকম্প শুনিতে হইলে কি কি শর্ত পূর্ণ হওয়া দরকার? স্বরকম্পের সাহায্যে ফর্কের কম্পাংক কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

3. প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা দুই উপরিপাতিত শব্দতরঙ্গের কম্পাংকের প্রভেদের সমান হইবে তাহা দেখাও।

4. স্থির-তরঙ্গ কাহাকে বলে? উহার বৈশিষ্ট্যগুলি বল।

5. স্থির-তরঙ্গ ও প্রগামী তরঙ্গের তুলনা কর।

6. স্থির-তরঙ্গে নোড ও অ্যান্টিনোডের অবস্থান গণিতের সাহায্যে গণনা কর।

7. স্থির-তরঙ্গ কি অবস্থায় গঠিত হয়? স্থির-তরঙ্গ দেখান যায় এমন কোন পরীক্ষা বর্ণনা কর।

8. দুটি ফর্কে সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প হয়। একটির কম্পাংক 312/s হইলে অন্যটির কম্পাংক কত হইতে পারে? ইহা কিভাবে নির্ণয় করিবে?

অজানা কম্পাংকের ফর্কের এক বাহুতে অল্প একটু মোম লাগাইলে তখন দুই ফর্কে সেকেণ্ডে 2টি স্বরকম্প পাওয়া যায়। দ্বিতীয় ফর্কের কম্পাংক কত? কারণ দেখাইয়া উত্তর দাও। [উত্তর : 316/s]

9. দুটি ফর্কে সেকেণ্ডে 6-টি স্বরকম্প হয়। একটির এক বাহুর ভার অল্প বাড়াইলে স্বরকম্পের সংখ্যা সেকেণ্ডে 4-টি হয়। ভার আরও বাড়াইলে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়িয়া আবার সেকেণ্ডে 6-টি হয়। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর।

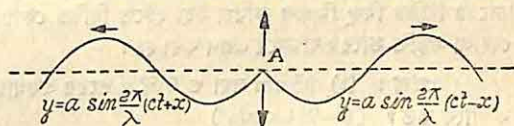
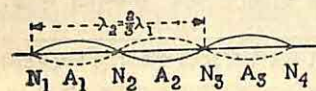
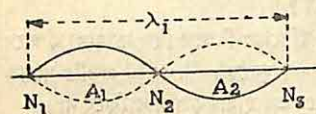
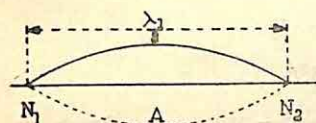
10. (ক) দুটি ফর্কে সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা 4। একটির কম্পাংক 512/s। ইহার এক বাহু ঘষিয়া পাতলা করিলে স্বরকম্পের সংখ্যা কমে। অন্যটির কম্পাংক কত? [উত্তর : 516/s]

(খ) 200/s কম্পাংকের শব্দতরঙ্গ বায়ুতে স্থির-তরঙ্গের সৃষ্টি করিল। বায়ুতে শব্দের বেগ 340 m/s হইলে (১) পর পর দুই নোডে, (২) দুই অ্যান্টিনোডে এবং (৩) এক নোড ও পরের অ্যান্টিনোডে দূরত্ব কত হইবে? [উত্তর : (১) ও (২) 85 cm ; (৩) 42·5 cm।]

11. ব্যতিচার (Interference) কাহাকে বলে? শব্দতরঙ্গে ব্যতিচারের একটি উদাহরণ দাও। ব্যতিচারের একটি গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগ উল্লেখ কর।

৬ তারের অনুপ্রস্থ কম্পন
(Transverse vibration of strings)

6-1. টানা দেওয়া তারের কম্পন (Vibration of stretched strings)। তারে টান (Tension) থাকিলে, উহার কোন বিন্দুকে তারের আড়াআড়ি একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে বা আঘাত করিলে, ঐ বিন্দু হইতে তার বাহিয়া দুপাশে দুটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ চলিতে থাকে (6·1 চিত্র)। এই তরঙ্গের বেগ তারের টান (tension) T এবং উহার একক দৈর্ঘ্যের ভর (mass per unit length বা linear density) m-এর উপর নির্ভর করে। গণিত প্রয়োগে দেখা যায় এই বেগ c-র মান $\sqrt{T/m}$। এ গণিত আমাদের বর্তমান গণ্ডীর বাহিরে বলিয়া উহার প্রয়োগ এখানে দেখাইব না।

টানা দেওয়া তারের দুই প্রান্ত শক্ত করিয়া আঁটা থাকিলে, তরঙ্গ দুটি দুইপ্রান্ত হইতে বার বার প্রতিফলিত হইয়া পরস্পরের উপর উপরিপাতিত হয়। ইহাতে তারে **স্থির-তরঙ্গের** উৎপত্তি হয়। তারের দৈর্ঘ্য l যে সকল তরঙ্গের অর্ধতরঙ্গদৈর্ঘ্য $\frac{1}{2}\lambda$-র পূর্ণগুণিতক, সেই স্থির-তরঙ্গগুলিই স্থায়ী হয়। তারের দুই প্রান্তে দুটি নিস্পন্দ বিন্দু বা নোড (Node) থাকে। ইহাদের মাঝখানে $\frac{1}{2}\lambda$ পর পর আরও নোড থাকিতে পারে। সম্পূর্ণ তারগাছা এক বা একাধিক খণ্ডে (Loop-এ) স্থির-তরঙ্গে স্পন্দিত হয় (6·2 চিত্র)। চিত্রে N নোড ও A অ্যান্টিনোড বুঝায়।

চিত্র 6·1

6-2. তারের মূল কম্পাংক (Fundamental frequency of a string)। λ_1 তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গের উপরিপাতে সম্পূর্ণ তার এক খণ্ডে স্পন্দিত হইলে $l=\frac{1}{2}\lambda_1$ হইবে। এই কম্পনের কম্পাংককে তারের 'মূল কম্পাংক' (Fundamental frequency) বলে। মূল কম্পাংক n_1 হইলে $n_1\lambda_1=c=\sqrt{T/m}$। এক্ষেত্রে $\lambda_1=2l$ হওয়ায়

$$n_1=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ হইবে।} \qquad (6\text{-}2.1)$$

(l = তারের দুই আবদ্ধ প্রান্তের দূরত্ব।)

সম্পূর্ণ তারে p সংখ্যক লুপ বা খণ্ড থাকিলে, এক এক খণ্ডের দৈর্ঘ্য $l/p=\frac{1}{2}\lambda p$ হইবে। অতএব

চিত্র 6·2

এ অবস্থায় তরঙ্গদৈর্ঘ্য হইবে $\lambda_p = 2l/p$। এরূপ ক্ষেত্রে কম্পাংক n_p দিয়া বুঝাইলে $n_p\lambda_p = c = \sqrt{T/m}$

$$\text{বা} \quad n_p = \frac{1}{\lambda_p}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{p}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad (6\text{-}2.2)$$

6-2.2 সমীকরণ হইতে টানা দেওয়া তারের অনুপ্রস্থ কম্পনের সকল বৈশিষ্ট্যগুলিই পাওয়া যায়। এই সমীকরণে $p = 1, 2, 3$ ইত্যাদি যে কোন পূর্ণসংখ্যা হইতে পারে। $p = 1$ হইলে তারের কম্পনে যে স্বর পাওয়া যায় তাহাকে তারের 'মূলস্বর' (Fundamental) বা 'প্রথম হার্মনিক' (First harmonic) বলে। সমীকরণ হইতে দেখা যায় তারের কম্পনে সম্ভাব্য কম্পাংকগুলি মূল কম্পাংকের পূর্ণ গুণিতক। তারের কম্পনে যে স্বর পাওয়া যায় তাহাতে সাধারণত মূলস্বর ছাড়া একাধিক উপস্বর (overtones) থাকে। এখানে উপস্বরগুলির কম্পাংক মূলস্বরের পূর্ণ গুণিতক হওয়ায় উপস্বরগুলিকে **'হার্মনিক' (Harmonics)** বলা হয়। $p = 2$ হইলে, অর্থাৎ তার দুইখণ্ডে স্পন্দিত হইলে, যে স্বর পাওয়া যায় তাহাকে বলে 'দ্বিতীয় হার্মনিক' (Second harmonic)। $p = 3$ হইলে উহা 'তৃতীয় হার্মনিক' (Third harmonic), ইত্যাদি।

স্বরের জাতি বা কোয়ালিটি (Quality) উহার উপস্বরগুলি দিয়া নির্দিষ্ট হয় বলিয়া কম্পমান তারের বিভিন্ন বিন্দু নিস্পন্দ করিয়া উহা হইতে বিভিন্ন কোয়ালিটির স্বর পাওয়া যায়। সেতার, এস্রাজ, বেহালা প্রভৃতি তারের বাদ্যযন্ত্রে এরূপ করা হয়।

প্রশ্ন। (১) 65 cm লম্বা ও 0·52 g ভরের একগাছা তারে টান 0·23 kg। উহার মূলস্বরের কম্পাংক কত? ($g = 981$ cm/s²)

সমাধান—কোন প্রশ্নের সমাধানে সকল রাশিগুলি একই পদ্ধতির এককে নিতে হয়। এখানে আমরা সিজিএস্ একক ব্যবহার করিলে পাই

তারে টান $T = 0{\cdot}23$ kg $= 0{\cdot}23 \times 1000 \times 981$ dyn।

রৈখিক ঘনত্ব $m = 0{\cdot}52/65 = 0{\cdot}008$ g/cm।

$$\text{অতএব তরঙ্গবেগ } c = \sqrt{T/m} = \sqrt{\frac{0{\cdot}23 \times 1000 \times 981}{0{\cdot}008}} = 5311 \text{ cm/s.}$$

মূলস্বরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 2 \times 65 = 130$ cm।

$$\therefore \text{ মূলস্বরের কম্পাংক} = \frac{c}{\lambda} = \frac{5311 \text{ cm/s}}{130 \text{ cm}} = 40{\cdot}85/\text{s.}$$

(২) 100 cm লম্বা একগাছা টানা দেওয়া তারের একপ্রান্ত হইতে 25 cm দূরের বিন্দুতে হঠাৎ আঘাত করা হইল। ইহাতে কোন্ কোন্ হার্মনিকের থাকা সম্ভব নয়?

সমাধান—যেখানে আঘাত করা হইল ঐ বিন্দু যে সকল হার্মনিকের নিস্পন্দ বিন্দু তাহারা কম্পনে থাকিতে পারিবে না। আঘাতের স্থান প্রান্ত হইতে দৈর্ঘ্যের $25/100 = \frac{1}{4}$ দূরত্বে। 4, 8, 12 প্রভৃতি সংখ্যক হার্মনিকগুলির নিস্পন্দ বিন্দু ঐখানে থাকার কথা। অতএব উৎপন্ন স্বরে এই হার্মনিকগুলি থাকিবে না।

6-3. তারের অনুপ্রস্থ কম্পনের সূত্র* (Laws of transverse vibration of strings)। 6-2.1 সমীকরণটি মনে রাখিলে এই সূত্রগুলি তাহা

* তারের অনুপ্রস্থ কম্পনের সূত্র, সরল দোলকের সূত্র, বিনা বাধায় পতনের সূত্র প্রভৃতি সূত্রগুলি পদার্থবিদ্যা চর্চার প্রথম যুগে পরীক্ষার ভিত্তিতে স্থাপিত হয়। তখনও ঐ সকল ব্যাপারে গণিত প্রয়োগ হয় নাই। পরে গণিত প্রয়োগ হইলে দেখা যায় সূত্রগুলি গণিত হইতেই আসিয়া পড়ে।

হইতেই পাওয়া যায়। তারের অনুপ্রস্থ কম্পনের সূত্র বলিতে নিচের সূত্রগুলি বুঝায়ঃ

(১) দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of length)। তারের টান (T) ও রৈখিক ঘনত্ব (m) স্থির থাকিলে তারের মূল কম্পাংক (n) তারের দৈর্ঘ্যের (l-এর) বিষমানুপাতিক হয়। সংকেতে লিখিলে

T ও m স্থির থাকিলে $n \propto 1/l$।

(২) টানের সূত্র (Law of tension)। দৈর্ঘ্য ও রৈখিক ঘনত্ব স্থির থাকিলে কম্পাংক টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক হয়। সংকেতে

l ও m স্থির থাকিলে $n \propto \sqrt{T}$।

(৩) ভরের সূত্র (Law of mass)। দৈর্ঘ্য ও টান স্থির থাকিলে কম্পাংক রৈখিক ঘনত্বের বর্গমূলের বিষমানুপাতিক হয়। সংকেতে

l ও T স্থির থাকিলে $n \propto \sqrt{1/m}$।

তারগুলি সাধারণত বৃত্তাকার ছেদের থাকে। সেজন্য এ সূত্রটি একটু অন্যভাবেও লেখা যায়। তারের ব্যাস d এবং উহা যে পদার্থে তৈয়ারী তাহার ঘনত্ব ρ হইলে

$$m = \pi r^2 \rho = \tfrac{1}{4}\pi d^2 \rho \text{ ।}$$

$$\therefore \quad n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}} \qquad \text{(6-2.1 সমীকরণ হইতে)}$$

অতএব বলা যায়

(৩ক) ব্যাসের সূত্র (Law of diameter)। দৈর্ঘ্য, টান ও পদার্থ একই হইলে তারের কম্পাংক উহার ব্যাসের বিষমানুপাতিক।

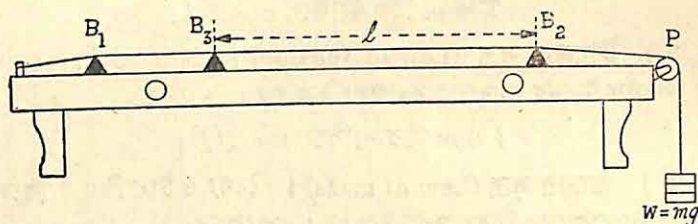
(৩খ) ঘনত্বের সূত্র (Law of density)। দৈর্ঘ্য, টান ও ব্যাস একই হইলে তারের কম্পাংক উহার পদার্থের ঘনত্বের বর্গমূলের বিষমানুপাতিক।

ফরাসী গণিতবিৎ মার্সেন (Marsenne) 1636 খ্রীষ্টাব্দে সূত্রগুলি আবিষ্কার করেন। তাহার অনেক পরে 1715 খ্রীষ্টাব্দে টেলর (Taylor) 6-2.2 সমীকরণ স্থাপন করেন।

6-4. স্বনমিটার (Sonometer)। স্বনমিটার একটি সরল গঠনের যন্ত্র। উহার সাহায্যে ফর্কের কম্পাংক বাহির করা বা মার্সেনের সূত্রগুলি যাচাই করা যায়।

6·3 চিত্রে স্বনমিটারের গঠন বুঝান হইয়াছে। ইহাতে প্রায় এক মিটার লম্বা কাঠের বাক্সের উপর এক (কি দু) গাছা তার সমান্তরালে টানা দেওয়া থাকে। তারের এক প্রান্ত একটি পিনে আটকান। অন্য প্রান্ত পুলির উপর দিয়া ঝুলাইয়া দরকার মত ভারের সঙ্গে লাগান থাকে। একগাছা তার থাকিলে যন্ত্রটিকে সাধারণত 'মনোকর্ড' (Monocord) বলা হয়। দুগাছা তার থাকিলে অন্য গাছাকে স্থির টানে রাখা হয়, এবং এই টান অবিচ্ছিন্নভাবে বদলাইবার ব্যবস্থা রাখিতে হয়। প্রথমে তার গাছাকে 'মূল তার' (Main wire) ও দ্বিতীয় গাছাকে 'সহায়ক তার' (Auxiliary বা Reference

wire) বলে। তারের নিচে তারের আড়াআড়ি দুটি A-আকারের 'ব্রিজ' (Bridge) থাকে। উহাদের দূরত্ব বদলান যায়, এবং উহাদের মধ্যবর্তী তারের অংশকেই কাঁপান হয়।

স্বনমিটারের বাক্স ফাঁপা। উহার উপরের তক্তা পাতলা, এবং পাশের দুদিকের তক্তায় কয়েকটি ছেঁদা। তার কাঁপাইলে উহার কম্পন ব্রিজ দুটি মারফত উপরের

চিত্র 6·3

তক্তায় সঞ্চালিত হয়। তক্তা পরবশ কম্পনে (1-11 বিভাগ) কাঁপে ও বাক্সের ভিতরের বায়ুকে কাঁপায়। বাক্সের ভিতরের বায়ু তারের কম্পনের শক্তি হইতে শক্তি সংগ্রহ করিয়া নিজের কম্পনের বিস্তার বাড়ায়। বাক্সের ভিতরের বায়ুতে সৃষ্ট কম্পন এইভাবে জোরাল হয় এবং পাশের ছেঁদা দিয়া বাহিরে প্রগামী তরঙ্গের আকারে বাহির হইয়া আসে। এই শব্দই আমরা শুনিতে পাই। শুধু তারের কম্পনে যে শব্দ হয় তাহা অতি ক্ষীণ।

নির্গত স্বরের কম্পাংক দুভাবে বদলান যায়—

(১) তারের টান বদলাইয়া;

(২) ব্রিজ দুটির মধ্যে দূরত্ব বদলাইয়া।

6-4.1. স্বনমিটারের সাহায্যে টিউনিং ফর্কের কম্পাংক নির্ণয় (To determine the frequency of a tuning fork with a sonometer)। ইহা দুভাবে করা যায়:

(ক) জানা কম্পাংকের কোন ফর্ক থাকিলে;

(খ) জানা কম্পাংকের ফর্ক না থাকিলে।

(ক) জানা কম্পাংকের ফর্ক থাকিলে, মূল তারটিকে স্থির কোন টানে রাখিয়া ফর্কটিকে কাঁপাইয়া উহার হাতল স্বনমিটারের উপরের তক্তার মাঝামাঝি একটু চাপিয়া ধর। ইহাতে হাতল ওঠানামা করিবে (3-2.1 উপবিভাগ দেখ) এবং তক্তা ও ব্রিজের মারফত ইহার কম্পন তারে সঞ্চালিত হইবে। ব্রিজ দুটির দূরত্ব বাড়াইয়া কমাইয়া এমন কর যাহাতে উহাদের মধ্যবর্তী অংশের তারে ও ফর্কে অনুনাদ (Resonance; 1-11.1 উপবিভাগ দেখ) হয়। অনুনাদ হইল কিনা বুঝিতে কাগজের খুব ছোট এক টুকরা Λ-আকারে ভাঁজ করিয়া স্থির তারের মাঝখানে বসাও। অনুনাদ হইলে তারের

কম্পনের বিস্তার বেশী হওয়ায় কাগজ টুকরা পড়িয়া যাইবে। অনুনাদ সঠিক হইল কি না বুঝিতে তার ও ফর্কের কম্পনে স্বরকম্প শোনা যায় কি না লক্ষ্য কর। স্বরকম্প থাকিলে ব্রিজের দূরত্ব দরকার মত সামান্য বদলাইয়া স্বরকম্প দূর কর। এই অবস্থায় দুই ব্রিজের মধ্যবর্তী অংশের তারের দৈর্ঘ্য l_1 মাপ। মনে কর ফর্কের জানা কম্পাংক n_1।

ইহার পর যে ফর্কের কম্পাংক বাহির করিতে হইবে, তাহা লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা কর। তারের টান বদলাইও না। অনুনাদে এবার তারের দৈর্ঘ্য l_2 হইলে, 6-1.1 সমীকরণ অনুসারে $n_1l_1 = n_2l_2$ হইবে, কারণ T ও m বদলায় নাই। উভয় ক্ষেত্রে তার একখণ্ডে কাঁপে সে বিষয়ে সচেতন থাকিতে হইবে।

(খ) জানা কম্পাংকের ফর্ক না থাকিলে, মূল তারগাছা খুলিয়া বা ঠিক ঐ রকম তারের জানা দৈর্ঘ্যের ওজন মাপিয়া প্রথমে রৈখিক ঘনত্ব m বাহির কর। তাহার পর তারগাছা নির্দিষ্ট কোন টান T-তে রাখিয়া পরীক্ষণীয় ফর্কের সঙ্গে তারের কত দৈর্ঘ্যে একখণ্ডে অনুনাদ হয়, তাহা (ক)-এ বলা উপায়ে বাহির কর। এই দৈর্ঘ্য l হইলে 6-1.2 সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া n বাহির কর।

প্রশ্ন। (১) 50 cm লম্বা একগাছা তার 25 kg ভারে টানা দেওয়া আছে। তারের ভর 1·44 g। উহার মূলস্বর ও দ্বিতীয় হার্মনিকের কম্পাংক বাহির কর। ($g = 980\ \text{cm/s}^2$)।

সমাধান—$T = 25\ \text{kg-wt} = 25 \times 1000 \times 980\ \text{dyn}$।
$m = 1{\cdot}44\ \text{g}/50\ \text{cm} = 0{\cdot}0288\ \text{g/cm}$।

মূলস্বরের ক্ষেত্রে তার একখণ্ডে কাঁপিবে, অর্থাৎ $l = 50\ \text{cm}$। 6-2.1. সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া পাই

$$n_1 = \frac{1}{2 \times 50}\sqrt{\frac{25 \times 1000 \times 980}{0{\cdot}0288}} = 291{\cdot}6/\text{s}.$$

দ্বিতীয় হার্মনিকের কম্পাংক ইহার দ্বিগুণ।

(২) 54 cm ও 36 cm লম্বা দুগাছা একরকম তারের কম্পাংক সমান। প্রথম গাছায় টান 9 kg হইলে দ্বিতীয় গাছায় কত?

সমাধান—এক্ষেত্রে $n = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m}} = \frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m}}$

বা, $\sqrt{T_2} = \frac{l_2}{l_1}\sqrt{T_1} = \frac{36}{54}\sqrt{9\ \text{kg-wt}}.$

$\therefore\ T_2 = \frac{4}{9} \times 9\ \text{kg-wt} = 4\ \text{kg-wt}.$

(৩) দুটি টিউনিং ফর্ক একসঙ্গে বাজাইলে সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প হয়। উহারা একই রকম একগাছা স্থির টানের তারের 96 cm ও 97 cm দৈর্ঘ্যের সঙ্গে যথাক্রমে সমস্বর (in unison)। কোন্ ফর্কের কম্পাংক কত?

সমাধান—মনে কর, n_1 ও n_2 দুই কম্পাংক, T-তারে টান ও m তারের রৈখিক ঘনত্ব। তাহা হইলে

$$n_1 = \frac{1}{2 \times 96}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{এবং} \quad n_2 = \frac{1}{2 \times 97}\sqrt{\frac{T}{m}}\ ।$$

অতএব, $n_1/n_2 = 97/96$ এবং $n_1 - n_2 = 4$। এই দুই সমীকরণের সমাধানে পাই
$n_1 = 4 \times 97 = 388/\text{s}$, ও $n_2 = 4 \times 96 = 384/\text{s}$।

(৪) কোন স্বনমিটারের তার একটি ফর্কের সঙ্গে সমস্বর (in unison)। তারে টান ঠিক রাখিয়া দৈর্ঘ্য 1% কমাইলে সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প শোনা যায়। ফর্কের কম্পাংক কত?

সমাধান—মনে কর, সমস্বর তারের দৈর্ঘ্য l, টান T, রৈখিক ঘনত্ব m এবং ফর্কের কম্পাংক n। তাহা হইলে $n=(1/2l)(T/m)^{\frac{1}{2}}$। তারের দৈর্ঘ্য কমিলে কম্পাংক বাড়ে বলিয়া তারের নূতন অবস্থায় কম্পাংক $n+4$ এবং দৈর্ঘ্য $(99/100)\,l$।

$$\therefore\ n+4=\frac{100}{2\times 99\,l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{100}{99}n \quad \text{বা} \quad n=396/\text{s}.$$

(৫) কোন তারে টান 10 kg-wt। একই পদার্থের অন্য একগাছা তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস প্রথমটির দ্বিগুণ। দ্বিতীয় তারে টান কত হইলে উহার কম্পাংক প্রথমটির এক অক্টেভ উপরে হইবে?

[**টীকা**। দুই কম্পাংকের অনুপাত 1 : 2 হইলে দ্বিতীয়টি প্রথমটির 'এক অক্টেভ (octave) উপরে' এবং প্রথমটি দ্বিতীয়টির 'এক অক্টেভ নিচে' বলা হয়।]

সমাধান—মনে কর, প্রথম তারের দৈর্ঘ্য l_1 ও ব্যাস d, এবং দ্বিতীয়ের l_2 ও d_2। তাহা হইলে $l_2=2l_1$ এবং $d_2=2d_1$। ρ উভয়ের পদার্থের ঘনত্ব। প্রথমের কম্পাংক n_1 হইলে, দ্বিতীয়ের কম্পাংক $n_2=2n_1$। অতএব

$$n_1=\frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{10\text{ kg-wt}}{\pi\rho\, d_1^{\,2}}} \quad \text{এবং} \quad n_2=2n_1=\frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho d_2^{\,2}}}$$

$$\text{বা} \quad \frac{2}{2l_1d_1}\sqrt{\frac{10\text{ kg-wt}}{\pi\rho}}=\frac{1}{2.2.l_1.2d_1}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}=\frac{1}{8l_1d_1}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}};$$

$$\therefore\ \sqrt{T}=8\sqrt{10\text{ kg-wt}} \quad \text{বা} \quad T=640\text{ kg-wt}.$$

অনুশীলনী

1. টানা দেওয়া তারে অনুপ্রস্থ তরঙ্গগতির বেগের সমীকরণ লেখ ও উহার অর্থ বুঝাইয়া বল।

2. টানা দেওয়া তারের দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকিলে উহাতে স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি কিভাবে হয় বল।

এরূপ তার এক বা একাধিক খণ্ডে কাঁপিলে কম্পনসংখ্যার সঙ্গে তারের দৈর্ঘ্য, টান ইত্যাদির কি সম্পর্ক হইবে, তাহা সমীকরণের আকারে লেখ। সমীকরণের বিভিন্ন সংকেতের (symbol) অর্থ স্পষ্ট করিয়া বল।

তারের মূল কম্পাংক বলিতে কি বুঝায়? তারের বিভিন্ন হার্মনিক কাহাদের বলে?

3. টানা দেওয়া তারের দৈর্ঘ্য l, এবং $m=1, 2, 3$ ইত্যাদি কোন পূর্ণসংখ্যা। তারে l/m বিন্দুতে আঘাত করিলে নির্গত স্বরে কোন্ কোন্ হার্মনিক থাকিতে পারিবে?

কম্পমান তারের l/m বিন্দুতে কম্পন থামাইয়া দিলেই বা কোন্ কোন্ হার্মনিক থাকিবে?

4. তারের অনুপ্রস্থ কম্পনের সূত্রগুলি বল।

তারের ব্যাস দ্বিগুণ করিলে টান কতগুণ বাড়াইলে কম্পাংক একই থাকিবে? [উঃ 4 গুণ]

5. স্বনমিটারের সাহায্যে কোন টিউনিং ফর্কের কম্পাংক কি ভাবে নির্ণয় করিবে?

স্বনমিটারে ফাঁপা বাক্স এবং তাহার পাশের দিকে ছেঁদা রাখায় কি সুবিধা হয়? ফর্কের কম্পন তারে কি ভাবে সংক্রমিত হয়?

6. উপরের পরীক্ষার সাহায্যে পরবশ কম্পন ও অনুনাদ বুঝাও।

7. 50 cm লম্বা একগাছা তারের ওজন 1·25 g এবং উহাতে টান 25 kg। এই তারের সঙ্গে সমস্বর ফর্কের কম্পাংক কত? [উঃ 313/s]

8. 30 cm লম্বা ও 0·02 cm ব্যাসের টানা দেওয়া একগাছা তারের মূল কম্পাংক 200/s। একই পদার্থের 20 cm লম্বা ও 0·025 cm ব্যাসের আর একগাছা তারে টান একই। দ্বিতীয় তারের মূল কম্পাংক কত? [উঃ 240/s]

9. একগাছা টানা দেওয়া তারের দৈর্ঘ্য 70 বা 75 cm হইলে সেকেণ্ডে উহার সঙ্গে কোন ফর্কের 6-টি স্বরকম্প হয়। ফর্কের কম্পাংক কত? [উঃ 174/s]

৭ বায়ুস্তম্ভের কম্পন
(Vibration of air columns)

7-1. বায়ুস্তম্ভে স্থির-তরঙ্গ (Stationary waves in air columns)। দুইটি একই প্রকার শব্দতরঙ্গ বিপরীত দিক্ হইতে আসিয়া কোন নলের ভিতরের বায়ুতে উপরিপাতিত হইলে, নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভে স্থির-তরঙ্গের সৃষ্টি-হইবে। ইহাতে বায়ুস্তম্ভের কম্পন হইবে স্থির-তরঙ্গের কম্পন।

এরূপ বায়ুস্তম্ভ স্বনকের কাজ করে। বাঁশী, অর্গ্যান, ক্ল্যারিওনেট ইত্যাদি বাদ্যযন্ত্রে শব্দ আসে এই রকম বায়ুস্তম্ভ হইতে। নলের আকার, আয়তন ও উহার ভিতরের বায়ুকে কাঁপাইবার উপায় বিভিন্ন যন্ত্রে বিভিন্ন রকম। নলের একমুখ বা উভয় মুখই খোলা হইতে পারে। এই সকল বিভিন্নতার উপর যন্ত্র হইতে নির্গত স্বরের বৈশিষ্ট্য নির্ভর করে।

7-2. একমুখ বদ্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air columns in a tube closed at one end)। নলের খোলা মুখে কম্পমান টিউনিং ফর্ক ধরিলে শব্দতরঙ্গ নলের বায়ু দিয়া গিয়া স্থির প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া আগন্তুক (মূল) শব্দতরঙ্গের উপর পড়িয়া নলে স্থির-তরঙ্গ সৃষ্টি করে। এই স্থির-তরঙ্গের কম্পন বায়ুস্তম্ভে যে কম্পন সৃষ্টি করে তাহা স্তম্ভের পরবশ কম্পন (Forced vibration) ; ইহা জোরাল হয় না। বায়ুস্তম্ভে বিভিন্ন রকমের স্বভাব কম্পন (natural vibration) হইতে পারে। ফর্কের কম্পনে সৃষ্ট স্থির-তরঙ্গের কম্পাংক বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পনের কোন কম্পাংকের সমান হইলে দুই-এ অনুনাদ (Resonance) হইবে। তখন বায়ুস্তম্ভ হইতে নির্গত শব্দ জোরাল হইবে। একমুখবদ্ধ নলে (ইহাকে সংক্ষেপে 'বদ্ধ নল' (closed tube) বলা হইবে) স্বভাব কম্পন কি কি রকমের হইতে পারে দেখা যাক।

7-2.1. বদ্ধনলে স্বভাব কম্পনের শর্ত (Conditions for natural vibration of an air column in a closed tube)। নলের বদ্ধপ্রান্তের সংলগ্ন বায়ুকণা বিচলিত হইতে পারে না। অতএব স্বভাব কম্পনে ঐ স্তর নিস্পন্দ থাকিবে। তা ছাড়া, স্বভাব কম্পনে নলের মুক্ত প্রান্তের বায়ুকণাগুলির বিচলনে বাধা সবচেয়ে কম। কাজেই ঐ স্থানে সুস্পন্দ বিন্দু বা এ্যান্টিনোড গঠিত হইবে। দেখা যাইতেছে স্বভাব কম্পন যে প্রকারেরই হউক না কেন বদ্ধপ্রান্তে তাহার নোড ও মুক্তপ্রান্তে অ্যান্টিনোড থাকিবে।

অতএব স্থির-তরঙ্গে ও স্বভাব কম্পনে অনুনাদ ঘটিতে হইলে **বদ্ধপ্রান্তে স্থির-তরঙ্গের নোড এবং মুক্তপ্রান্তে উহার অ্যান্টিনোড থাকিতে হইবে।** 5-3.3 উপবিভাগে আমরা দেখিয়াছি স্থির-তরঙ্গে নোড ও অ্যান্টিনোডের মধ্যে দূরত্ব

$\frac{1}{4}\lambda$-র কোন বিজোড় গুণিতক। তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ ও নলের দৈর্ঘ্য l হইলে অনুনাদে দুয়ের সম্পর্ক হইবে

$$l=(2m-1)\,\lambda/4 \quad (m=1, 2, 3, \text{ইত্যাদি}) \tag{7-2.1}$$

শব্দের বেগ c হইলে নল হইতে নির্গত শব্দের কম্পাংক হইবে

$$n=\frac{c}{\lambda}=(2m-1)\frac{c}{4l} \quad (m=1, 2, 3, \text{ইত্যাদি}) \tag{7-2.2}$$

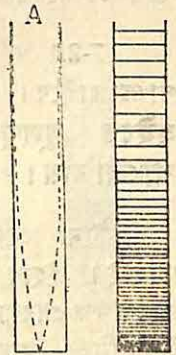
7-2.2. মূলস্বর (Fundamental tone)। একমুখবদ্ধ নলের বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পনের মধ্যে যেটি সরলতম তাহাতে উহার বদ্ধ প্রান্তে নোড ও মুক্ত প্রান্তে অ্যান্টিনোড থাকিবে। এ দুই-এর মধ্যে অন্য কোন নোড-অ্যান্টিনোড থাকিবে না। এ ক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য l ও নির্গত স্বরের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_1-এর মধ্যে সম্পর্ক হইবে

$$l=\tfrac{1}{4}\lambda_1 \text{ বা } \lambda_1=4l \tag{7-2.3}$$

কম্পাংক $n_1=c/4l$ (7-2.4)

7-2.1 ও 7-2.2 সমীকরণে ইহারা $m=1$-এর সমান। এই স্বরকে বদ্ধনলের 'মূলস্বর' বলে। নলের ভিতরের অংশে শব্দতরঙ্গ স্থির; বাহিরে উহা প্রগামী। নলের খোলা মুখের বায়ুকণাগুলি চরম বিস্তারে দুলিতে থাকে। ঐ কম্পন বাহিরের বায়ুতে প্রগামী শব্দতরঙ্গ ছড়াইয়া দেয়। নলের ভিতরে বায়ুস্তর বদ্ধমুখের যত কাছে উহাতে কম্পন তত কম। বায়ুকণার কম্পন নলের দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে। 7·1 (*a*) চিত্রে N নোড ও A অ্যান্টিনোড। দুই ভাঙ্গা রেখার মধ্যে আড়াআড়ি দূরত্ব নলের বিভিন্ন স্থানে কম্পনের বিস্তারের মান বুঝায়; তবে নলের বায়ুকণাগুলির কম্পন নলের দৈর্ঘ্য বরাবর তাহা মনে রাখিও। 7·1 (*b*) চিত্রে আড়াআড়ি রেখাগুলি নলের বায়ুস্তর বুঝায়। বায়ুস্তম্ভে উহাদের বিন্যাস দিয়া চাপের অবস্থা বুঝান যায়। চিত্রে নিচের দিকে চাপ ক্রমশ বেশী ও স্তরগুলি বেশী কাছাকাছি; ইহা একটি ঘনীভূত অবস্থা। সম্পূর্ণ স্তম্ভটি একবার নোডের দিকে যায়, ও আবার উহা হইতে সরিয়া আসে।

A

N

(*a*) (*b*)

চিত্র 7·1

7-2.3. বদ্ধনলের বিভিন্ন উপস্বর (Overtones of a closed tube)। বদ্ধনলে মূলস্বরের চেয়ে বেশী কম্পাংকের যে সকল উপস্বর (overtones) পাওয়া যাইতে পারে তাহার প্রথমটিতে নলের দুই প্রান্তের নোড (N) ও অ্যান্টিনোড (A-র) মধ্যে এক জোড়া অ্যান্টিনোড (a_1) ও নোড (n_1) থাকিতে পারে (7·2 *b* চিত্র)। নোড অ্যান্টিনোডে দূরত্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থাংশ হওয়ায় এক্ষেত্রে

$$l=\tfrac{3}{4}\lambda_2 \text{ বা } \lambda_2=4l/3 \tag{7-2.5}$$

এবং কম্পাংক $n_2=c/\lambda_2=3c/4l=3n_1$ (7-2.6)

7-2.1 ও 7-2.2 সমীকরণে $m=2$ বসাইলে এই ফলগুলি পাওয়া যায়। দেখা যায় **প্রথম উপসুরের কম্পাংক মূলসুরের তিনগুণ।** অতএব বদ্ধনলে **প্রথম উপসুর মূলসুরের তৃতীয় হার্মনিক।** 7·2 (*b*) চিত্রে কম্পনের প্রকৃতিও বুঝান হইয়াছে। n_1-এর দুপাশের (n_1A ও $n_1\ a_1$) বায়ুস্তর একসঙ্গে n_1-এর দিকে আসে বা উহা হইতে সরিয়া যায়।

চিত্র 7·2

একই ভাবে দেখা যায় **নলের দ্বিতীয় উপসুর হইবে মূলসুরের পঞ্চম হার্মনিক।** ইহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাংক 7-2.1 ও 7-2.2 সমীকরণে $m=3$ বসাইয়া পাওয়া যায়। দ্বিতীয় উপসুরের

$\lambda_3 = 4l/5$ এবং $n_3 = 5n_1$।

নলের দুই প্রান্তের মধ্যে দু জোড়া নোড-অ্যান্টিনোড বসাইয়া (7·2 *c* চিত্র) পঞ্চম হার্মনিকে নলের কম্পনের প্রকৃতি পাওয়া যায়।

7-2.1 ও 7-2.2 সমীকরণে $m=4, 5,$ ইত্যাদি বসাইয়া পরের উপসুরগুলি পাওয়া যাইবে। উহারা যথাক্রমে সপ্তম, নবম, ইত্যাদি হার্মনিক। দেখা যায় **বদ্ধনল হইতে মূলসুরের কেবল বিজোড় (odd) কম্পাংকের হার্মনিকগুলি পাওয়া যায়।**

টানা দেওয়া তার হইতে যেমন একটিমাত্র সুর পাওয়া কঠিন, বদ্ধনলেও তাহাই। ইহার কম্পনে কোন্ কোন্ উপসুর থাকিবে, মূলসুর সাপেক্ষে কোন্‌টির আপেক্ষিক প্রাবল্য কি হইবে তাহা নলের গঠন ও উহার কম্পন উদ্রেক করার উপায়ের উপর নির্ভর করে। শিশির মুখের আড়াআড়ি আস্তে ফুঁ দিয়া মূলসুর, আরও জোরে ফুঁ দিয়া তৃতীয় হার্মনিক পাওয়া যায়।

7-2.4. সারাংশ (Summary)। একমুখবদ্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পনের বিভিন্ন ধরনগুলি (modes) পাইতে মনে রাখিতে হইবে

(১) উহার বদ্ধপ্রান্তে সংলগ্ন বায়ুকণাগুলি বিচলিত হইতে পারে না, এবং উহার খোলামুখে বায়ুকণার বিচলনে বাধা সবচেয়ে কম।

(২) অতএব নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনে বদ্ধপ্রান্তে নোড (নিস্পন্দ বিন্দু) ও মুক্তপ্রান্তে অ্যান্টিনোড (সুস্পন্দ বিন্দু) থাকিতে হইবে।

(৩) নোড ও অ্যান্টিনোডে দূরত্ব কম্পনে সৃষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থাংশ ($\lambda/4$)।

(৪) বিভিন্ন ধরনের কম্পনে বদ্ধপ্রান্ত ও মুক্তপ্রান্তের মধ্যে আর কোন নোড-অ্যান্টিনোড না থাকিলে ঐ কম্পন মূলস্বর (Fundamental) দেয়। মূলস্বরের তুলনায় একজোড়া নোড-অ্যান্টিনোড বেশী থাকিলে প্রথম উপস্বর বা তৃতীয় হার্মনিক, দুই জোড়া থাকিলে দ্বিতীয় উপস্বর বা পঞ্চম হার্মনিক ইত্যাদি পাওয়া যায়। নিচের সমীকরণে $m=1, 2, 3$ ইত্যাদি বসাইয়া মূলস্বর, প্রথম উপস্বর, দ্বিতীয় উপস্বর ইত্যাদির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাংক পাওয়া যায়ঃ

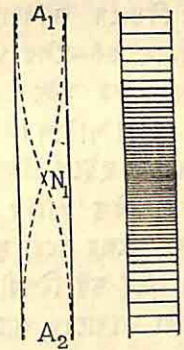
$$l=(2m-1)\,\lambda/4 \text{ এবং } n=c/\lambda=(2m-1)\,c/4l.$$

(৫) ইহা হইতে দেখা যায় বদ্ধমুখ নলে সকল হার্মনিক সৃষ্ট হয় না; কেবল 3, 5, 7 ইত্যাদি বিজোড় সংখ্যার হার্মনিক থাকিতে পারে।

7-3. উভয় মুখ খোলা নলের বিভিন্ন ধরনের স্বভাব কম্পন (Modes of vibration of a tube open at both ends)। ইহার বিচারও বদ্ধমুখ নলের মতই করা যায় কারণ এখানেও বায়ুস্তম্ভের স্বভাবকম্পন উহাতে সম্ভাব্য স্থির-তরঙ্গের কম্পন। এখানে মনে রাখিতে হইবে

(১) উভয় মুখ খোলা বলিয়া নলের দুই মুখে দুটি অ্যান্টিনোড থাকিবে।

(২) মূলস্বরে ইহাদের মধ্যে কেবল একটি নোড থাকিবে (7·3 চিত্র)। নলের দৈর্ঘ্য l হইবে নির্গত স্বরের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক, অর্থাৎ $l=\frac{1}{2}\lambda_1$।

(৩) বিভিন্ন উপস্বর পাইতে নলের দুই প্রান্তের মধ্যে সম্ভাব্য সংখ্যক নোড-অ্যান্টিনোড বসাইতে হইবে। প্রথম উপস্বরে দুই প্রান্তের অ্যান্টিনোডের মধ্যে দুইটি নোড ও একটি অ্যান্টিনোড থাকিবে (7·4 b চিত্র)। ইহাতে নলে চারটি অর্ধলুপ হয়। প্রত্যেক অর্ধলুপের দৈর্ঘ্য তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থাংশ বলিয়া $l=4\times\frac{1}{4}\lambda_2=\lambda_2$ হইবে।

চিত্র 7·3

(৪) দ্বিতীয় উপস্বরে নলের দুই প্রান্তের মধ্যে তিনটি নোড ও দুটি অ্যান্টিনোড থাকিবে। ইহাতে নলে ছয়টি অর্ধলুপ হয় (7·4 c চিত্র)। অতএব তরঙ্গদৈর্ঘ্য এক্ষেত্রে হইবে

$$l=6\times\tfrac{1}{4}\lambda_3 \text{ বা } \lambda_3=2l/3\text{।}$$

(৫) এই ভাবে দেখা যায় বিভিন্ন ধরনের স্বভাব কম্পনে নলে 2, 4, 6, 8 ইত্যাদি সংখ্যক অর্ধলুপ থাকিতে পারে। অতএব নির্গত শব্দে সম্ভাব্য তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও নলের দৈর্ঘ্যে সম্পর্ক হইবে $l=2m\,\lambda/4$ বা $\lambda=2l/m$ ($m=1, 2, 3$ ইত্যাদি)।

(7-3.1)

(৬) শব্দের বেগ c হইলে সম্ভাব্য স্বরগুলির কম্পাংক হইবে

$$n=c/\lambda=m\,c/2l \quad (m=1, 2, 3 \text{ ইত্যাদি}) \qquad (7\text{-}3.2)$$

$m=1$ হইল মূলস্বর ; উহার কম্পাংক $n_1=c/2l$। $m=2$ হইল প্রথম উপস্বর এবং উহার কম্পাংক $n_2=c/l=2\,n_1$। ইহা মূলস্বরের দ্বিগুণ; ইহাকে মূলস্বরের **দ্বিতীয় হার্মনিক** বলা হয়। $m=3$ হইলে উহা **তৃতীয় হার্মনিক,** এবং $3n_3=n_1$।

চিত্র 7·4

এইভাবে দেখা যায় উভয় মুখ খোলা নলের স্বভাব কম্পনে মূলস্বরের জোড় (even) ও বিজোড় (odd) সকল হার্মনিকগুলিই থাকিতে পারে। ইহা একমুখ খোলা নলের মত নয়; একমুখ খোলা নলে কেবল বিজোড় (odd) হার্মনিকগুলি থাকে।

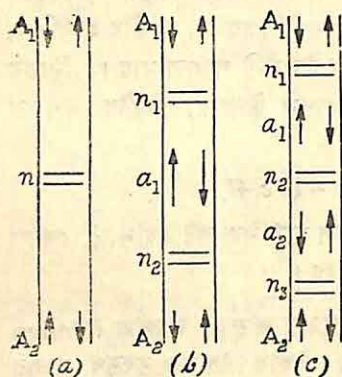
7-3.1 খোলা নলের ভিতরে স্থির-তরঙ্গ (Stationary waves in the open tube)। একটু আগে আমরা বলিয়াছি বদ্ধনলের মত খোলা নলেও স্বভাব কম্পন বায়ুস্তম্ভে স্থির-তরঙ্গের কম্পন। বদ্ধনলে স্থির-তরঙ্গ কি ভাবে হইতে পারে আমরা 7-2 বিভাগে দেখিয়াছি। খোলা নলে বিপরীতমুখী তরঙ্গ কি ভাবে পাইব? কম্পমান ফর্ক-নলের এক খোলা মুখের উপরে ধরিলে মনে হয়, অন্য মুখ খোলা বলিয়া, ফর্ক হইতে নির্গত শব্দতরঙ্গ খোলা নলের ভিতর দিয়া প্রগামী তরঙ্গের মত চলিয়া যাইবে। শুনিয়া হয়ত আশ্চর্য হইবে নলের ভিতরের তরঙ্গ খোলামুখে আপতিত হইলে উহার কিছু শক্তি প্রগামী তরঙ্গের মত নলের বাহিরে ছড়াইয়া পড়ে; কিন্তু শক্তির বেশী অংশই খোলামুখে প্রতিফলিত হইয়া বিপরীত দিকে চলিয়া নলের মধ্যে মূল তরঙ্গের উপরে পড়ে। নলের উভয় মুখেই এরূপ ক্রিয়া হয়। এই দুই বিপরীতমুখী তরঙ্গ স্থির-তরঙ্গ সৃষ্টি করে। নলের মুখে প্রতিফলনের প্রক্রিয়া আমাদের আলোচ্য গণ্ডীর বাহিরে।

7-3.2 প্রান্তীয় শুদ্ধি (End correction)। এই প্রসঙ্গে আরও একটি কথা বলিতে হয়। বদ্ধ বা খোলা নলের খোলা মুখের নোডগুলি নলের ঠিক প্রান্তেই থাকে না। র‍্যালে (Rayleigh) দেখাইয়াছেন নোডগুলি প্রান্ত হইতে $0{\cdot}3d$ দূরে থাকে (d হইল নলের ব্যাস)।

7-3.3 মন্তব্য (Remarks)। একমুখ খোলা বা দুইমুখ খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পন বিচার করিতে নিচের কথাগুলি মনে রাখিবে:

(১) বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পন নলে সম্ভাব্য স্থির-তরঙ্গের কম্পন। প্রকৃতিতে কম্পন অনুদৈর্ঘ্য।

(২) কম্পনে খোলামুখে অ্যান্টিনোড ও বদ্ধমুখে নোড গঠিত হইবে।

(৩) নলে নোড ও অ্যান্টিনোড একের পর অন্যটি থাকিবে।

(৪) পর পর নোড ও অ্যান্টিনোডে দূরত্ব হইবে $\lambda/4$।

(৫) মূলস্বরে সব চেয়ে কম সংখ্যক নোড-অ্যান্টিনোড থাকিবে। ক্রমোচ্চ উপস্বরগুলিতে একটি করিয়া নোড ও অ্যান্টিনোড বেশী হইবে।

(৬) বায়ুস্তম্ভের কম্পনের শক্তির কিছু অংশ খোলা মুখ দিয়া প্রগামী তরঙ্গের মত ছড়াইয়া পড়ে। কম্পমান বায়ুস্তম্ভ এইভাবে স্বনকের কাজ করে।

(৭) বায়ুস্তম্ভ একাধিক উপায়ে কাঁপান যায়। বাঁশী, অর্গ্যান ইত্যাদি বাদ্যযন্ত্রে বায়ুস্তম্ভ বিভিন্ন উপায়ে কাঁপান হয়।

7-4. খোলানল ও বদ্ধনলে কম্পনের তুলনা (Comparison of vibrations of open and closed tubes)। দুই প্রকার নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনের তুলনা নিচে সারণির আকারে সাজাইয়া দেওয়া হইল :

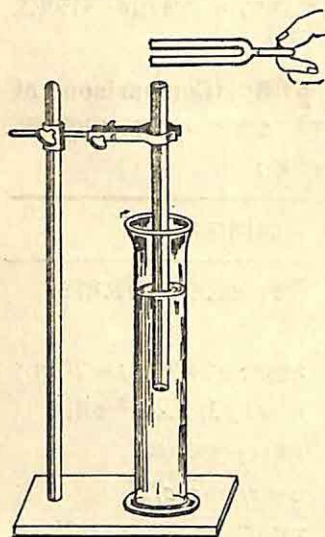
বদ্ধনল	খোলানল
(১) বদ্ধপ্রান্তে নোড ও খোলা-প্রান্তে অ্যান্টিনোড হইবে	(১) উভয় প্রান্তে অ্যান্টিনোড
(২) সম্ভাব্য তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 4l(2m-1)$; $m = 1, 2, 3, \cdots$ ইত্যাদি	(২) সম্ভাব্য তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 2l/m$; $m = 1, 2, 3, \cdots$ ইত্যাদি
(৩) সম্ভাব্য কম্পাংক $n = c/\lambda = (2m-1)c/4l$	(৩) সম্ভাব্য কম্পাংক $n = c/\lambda = mc/2l$
(৪) মূলস্বরে $m = 1$, $\lambda_1 = 4l$, ও $n_1 = c/4l$	(৪) মূলস্বরে $m = 1$, $\lambda_1 = 2l$, ও $n_1 = c/2l$

দেখা যায় উভয় প্রকার নলের দৈর্ঘ্য l সমান হইলে খোলানলের মূলস্বরের কম্পাংক বদ্ধনলের মূলস্বরের কম্পাংকের দ্বিগুণ হইবে।

বদ্ধনল	খোলানল
(৫) প্রথম উপস্বরে $m = 2$, $\lambda = 4l/3$, $n_2 = 3n_1$। ইহা মূলস্বরের তৃতীয় হার্মনিক।	(৫) প্রথম উপস্বরে $m = 2$, $\lambda = l$ ও $n_2 = 2n_1$। ইহা দ্বিতীয় হার্মনিক।
(৬) দ্বিতীয় উপস্বরে $m = 3$, $\lambda = 4l/5$, $n_3 = 5n_1$। ইহা পঞ্চম হার্মনিক।	(৬) দ্বিতীয় উপস্বরে $m = 3$, $\lambda = 2l/3$ ও $n_3 = 3n_1$। ইহা তৃতীয় হার্মনিক।
(৭) বদ্ধনলে কেবল বিজোড় (odd) হার্মনিক থাকিতে পারে।	(৭) খোলানলে জোড় ও বিজোড় সকল হার্মনিকই থাকে।

7-5 বায়ুস্তম্ভের কম্পাংকের উপর উষ্ণতা ও আর্দ্রতার প্রভাব (Effect of temperature and humidity on the frequency of an air column)। বদ্ধনলে কম্পাংক $n = (2m-1)c/4l$ ও খোলানলে $m = mc/2l$। c হইল নলের গ্যাসে শব্দের বেগ। উষ্ণতা বাড়িলে বেগ $\sqrt{T}$-র অনুপাতে বাড়ে ; T কেলভিন স্কেলে উষ্ণতা এবং $T°K = 273 + t°C$। বায়ুতে আর্দ্রতা বাড়িলেও

c বাড়ে। কাজেই বায়ুতে উষ্ণতা বা আর্দ্রতা বাড়িলে নলের কম্পাংকও বাড়িবে। কম্পাংকের পরিবর্তন যাহা হয় তাহা c-র (শব্দের বেগের) পরিবর্তনের জন্য।

7-6. বায়ুস্তম্ভে অনুনাদের সাহায্যে শব্দের বেগ বা ফর্কের কম্পাংক নির্ণয় (Determination of the velocity of sound or the frequency of a fork by resonance with an air column)। যে নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়ান কমান যায়, এমন নল নিয়া উহার বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে অনুনাদ ঘটাইয়া এবং স্তম্ভের দৈর্ঘ্য মাপিয়া ফর্কের কম্পাংক বাহির করা যায়। ইহার জন্য জলভরা লম্বা একটি কাচের জার (jar), খোলামুখ নল ও একটি স্ট্যাণ্ডের দরকার (7·5 চিত্র)। নলের একপ্রান্ত জলে ডুবাইলে, জলের উপরস্থ নলের অংশ একমুখ খোলা নলের মত ক্রিয়া করিবে। জলে কম বেশী ডুবাইয়া নলের অংশের দৈর্ঘ্য বাড়ান কমান যায়।

চিত্র 7·5

জলে নল যতদূর সম্ভব ডুবাইয়া ফর্ক কাঁপাইয়া নলের খোলামুখের উপরে ধর এবং নল ও ফর্ক আস্তে আস্তে উপরের দিকে উঠাও। ফর্কের কম্পন একটানা বেশীক্ষণ চলে না। কাজেই থাকিয়া থাকিয়া উহাকে নূতন করিয়া কাঁপাইতে হইবে। একখণ্ড মোটা রবারের উপর আঘাত করিয়া ফর্ক কাঁপান হয়। বেশী জোরে বা টেবিলের উপরে ফর্ক দিয়া আঘাত করিও না, উহার ক্ষতি হইবে।

কম্পমান ফর্ক ও কাচের নল উপরে তুলিতে থাকিলে একটা সময় আসিবে যখন নল হইতে জোরাল শব্দ বাহির হইবে। এখন অনুনাদের অবস্থা প্রায় আসিয়াছে। নল খুব সামান্য উঠাইয়া নামাইয়া দেখ কখন শব্দ সবচেয়ে জোরাল হয়। এই অবস্থায় নল ষ্ট্যাণ্ডে ভালভাবে আটকাইয়া রাখ।

একটি মিটার স্কেল নিয়া জলের উপরে নলের দৈর্ঘ্য l মাপ। নলের ব্যাস d-ও মাপ। ফর্কের সঙ্গে বদ্ধ নলে যে বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ ঘটিয়াছে তাহার কার্যকর দৈর্ঘ্য $l+0{\cdot}3d$, কারণ র‍্যালের গণনা অনুসারে মুক্তপ্রান্তে অ্যান্টিনোড নলের প্রান্ত হইতে $0{\cdot}3d$ দূরে থাকে।

নির্গত স্বর বায়ুস্তম্ভের মূলস্বর, কারণ ইহার চেয়ে লম্বায় খাট থাকিতে অনুনাদ ঘটে নাই। অতএব 7-2.2 সমীকরণ অনুসারে ফর্কের কম্পাংক $n=c/4(l+0{\cdot}3d)$। c হইল নলের বায়ুস্তম্ভে শব্দের বেগ। c জানা থাকিলে ফর্কের n পাওয়া যায় এবং n জানা থাকিলে c পাওয়া যায়। নলের ভিতরের বায়ু আর্দ্র এবং কার্যত সংপৃক্ত (saturated)। উহার উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতা। কাজেই c বাহির করা হইয়া থাকিলে

উহা এই অবস্থায় বাহির হইয়াছে। (দরকার হইলে উষ্ণতা ও আর্দ্রতার জন্য শুদ্ধি করিয়া 0°C ও শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ হিসাব করা যায়। ইহা শুদ্ধমান 331·5 m/s-এর সঙ্গে তুলনা করিয়া পরীক্ষায় কতখানি ত্রুটি (error) ঘটিয়াছে তাহা বাহির করা যায়।)

ফর্কের কম্পাংক n বাহির করিতে c-র মান নলের উষ্ণতায় ও ঐ উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত বায়ুতে কত তাহা হিসাব করিয়া নিতে হইবে।

অনুশীলনী

1. বায়ুস্তম্ভের স্বভাব কম্পন উহাতে স্থির-তরঙ্গের কম্পন—এই উক্তিটি আলোচনা কর।

2. একমুখবদ্ধনলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের সম্ভাব্য কম্পাংকগুলি বাহির কর। ইহাতে মূলস্বরের কেবল বিজোড় হার্মনিকগুলি পাওয়া যাইবে তাহা দেখাও।

3. উভয় মুখ খোলা নলে সম্ভাব্য কম্পাংকগুলি বাহির কর। ইহাতে মূলস্বরের জোড় ও বিজোড় সকল হার্মনিকই থাকিতে পারে তাহা দেখাও।

4. বদ্ধ বা খোলানলের বায়ুস্তম্ভের কম্পন আলোচনায় যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কথা আসে তাহা কোন্ স্থির-তরঙ্গের বা কোন্ প্রগামী তরঙ্গের দৈর্ঘ্য বুঝাইয়া বল।

এরূপ নলকে স্বনক মনে করা যায় কেন?

5. খোলানলে স্থির-তরঙ্গ এবং উহা হইতে প্রগামী তরঙ্গ দুই-ই কি ভাবে পাওয়া যায় সংক্ষেপে বল।

6. বদ্ধনল ও খোলানলের কম্পন তুলনা কর।

7. বদ্ধনলের সাহায্যে বায়ুতে শব্দের বেগ কি ভাবে বাহির করিবে? ইহাকে কি 0°C-তে শুষ্ক বায়ুতে বেগ মনে করা যায়? উত্তরের কারণ দেখাও।

8. বদ্ধনল ও খোলানলে মূলস্বর বাহির হইবার সময় উহাদের কম্পনের প্রকৃতি কি রকম হয় বর্ণনা কর।

খোলানলের একমুখ হঠাৎ বদ্ধ করিলে মূলস্বরের কি পরিবর্তন হয়?

9. ঘরের উষ্ণতায় পিতলের একটি বদ্ধ নল কোন ফর্কের সঙ্গে সমস্বর। নল ক্রমশ উষ্ণ করিতে থাকিলে দুই স্বনকে স্বরকম্প পাওয়া যাইবে কেন? উষ্ণতা বাড়িতে থাকিলে স্বরকম্পের সংখ্যার কিপ্রকার পরিবর্তন হইবে?

10. খোলা অর্গ্যান নলের (ক) খোলামুখ অংশত ঢাকিলে, (খ) নলের দৈর্ঘ্য বাড়াইলে, (গ) নলের ভিতরের বায়ুর উষ্ণতা বাড়াইলে, কোন্ ক্ষেত্রে মূলস্বরের কিরকম পরিবর্তন হইবে ব্যাখ্যা কর।

[টীকা—খোলামুখ অংশত বদ্ধ করিলে কম্পাংক কমে; পূর্ণ বদ্ধ হইলে কম্পাংক এক অক্টেভ নামিয়া যায়।]

11. বায়ুতে কোন খোলা অর্গ্যান নলের কম্পাংক 256/s। বায়ু এবং কোল গ্যাসে (coal gas-এ) শব্দের বেগ যথাক্রমে 350 m/s ও 500 m/s হইলে, কোল গ্যাসে নলের কম্পাংক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হইবে?

[উত্তর: 366/s; 1·37 m]

12. 100 cm লম্বা ও 2 cm ব্যাসের খাড়া একটি নল সম্পূর্ণ জলে ভরা। উহার উপরের মুখের কাছে 510/s কম্পাংকের একটি ফর্ক বাজিয়া চলিতেছে, ও নলের জল নিচের দিক্ হইতে ক্রমশ ছাড়িয়া দেওয়া হইতেছে। শব্দের বেগ 340 m/s হইলে, নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য যখন প্রায় 17·3 cm, 50·6 cm ও 83·9 cm তখন অনুনাদ শোনা যাইবে কেন ব্যাখ্যা কর। [টীকা—প্রান্তীয় শুদ্ধি হিসাবে লইও।]

৮ শারীরবৃত্তীয় ধ্বনি (Physiological Sound)

8-1. সুস্বর ও অপস্বর (Musical sound and Noise)। উনবিংশ শতাব্দীর জর্মন বৈজ্ঞানিক হেল্‌ম্‌হোল্‌ৎস্ (Helmholtz ; 1821-1894) একাধারে পদার্থবিৎ ও শারীরবৃত্তবিৎ (Physiologist) ছিলেন। তিনি শব্দ এবং আলোর অনুভূতি সম্বন্ধে প্রচুর মৌলিক গবেষণা করিয়াছিলেন। অনুভূতির ভিত্তিতে শব্দকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হইয়াছিল—(১) মিউজিক্যাল সাউণ্ড বা সুস্বর (Musical sound) ও (২) নয়্‌জ্‌ বা অপস্বর (Noise)। অনুভূতি মাপা যায় না বলিয়া অনুভূতিভিত্তিক ব্যাপারগুলি ঠিক পদার্থবিদ্যার অন্তর্গত নয়। শব্দের অনুভূতির বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যকে হেল্‌ম্‌হোল্‌ৎস্ বিভিন্ন পরিমেয় রাশির সঙ্গে যুক্ত করিতে চাহিয়াছিলেন। শব্দের উপরোক্ত শ্রেণীভেদকে এই কারণে সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছিল 'যে শব্দের উৎপত্তি নিয়মিত কম্পনে তাহাই 'মিউজিক্যাল সাউণ্ড' (Musical sound বা সুস্বর), এবং যে শব্দের কোন স্থির কম্পন সংখ্যা নাই বা যাহা ক্ষণস্থায়ী, তাহাই 'নয়্‌জ্‌ (Noise বা অপস্বর)'। প্রথম ক্ষেত্রে শব্দ শ্রুতিসুখকর হইবে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পীড়াদায়ক হইবে, শ্রেণীভেদের ইহা ভিত্তি নয়। কোন কোন ক্ষেত্রে সুস্বর ধ্বনি শুনিতে মিষ্ট নয়, বা অপস্বরও পীড়াদায়ক নয়।

বর্তমানে নয়্‌জের সংজ্ঞা পরিবর্তিত হইয়াছে। নয়্‌জ্‌ বলিতে এখন **অবাঞ্ছিত শব্দ** বুঝায়। সে শব্দ নিয়মিত কম্পনেও উৎপন্ন হইয়া থাকিতে পারে।

8-2. মিউজিক্যাল সাউণ্ডের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of musical sound)। মিউজিক্যাল সাউণ্ড বা সুস্বরে অনুভূতির ভিত্তিতে তিনটি বৈশিষ্ট্য আরোপ করা হয়। উহারা হইল শব্দের (১) প্রাবল্য (Loudness), (২) তীক্ষ্ণতা (Pitch) ও (৩) জাতি (Quality)।

শব্দের অনুভূতির যে বৈশিষ্ট্য দিয়া একই প্রকার দুইটি শব্দের মধ্যে একটিকে মৃদুতর ও অন্যটিকে খরতর বলিয়া বোঝা যায় এবং বিভিন্ন শব্দকে খরতার ক্রম অনুসারে (বা স্কেলে) সাজান যায়, তাহাকে শব্দের **প্রাবল্য (Loudness)** বলে। আলোর ক্ষেত্রে ঔজ্জ্বল্য (Brightness) দৃষ্টির অনুভূতির যে রকম বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে জড়িত, শব্দের ক্ষেত্রে প্রাবল্যও সেই রকম।

শব্দের অনুভূতির যে বৈশিষ্ট্য দিয়া দুইটি শব্দের মধ্যে একটিকে মোটা ও অন্যটিকে মিহি বলিয়া বোঝা যায় তাহাকে শব্দের **তীক্ষ্ণতা (Pitch)** বলে। সংগীতশাস্ত্রে সাংগীতিক স্কেল (musical scale) বা স্বরগ্রাম আছে। স্বরগ্রামের উল্লেখে বলা যায় 'অনুভূতির যে বৈশিষ্ট্য দিয়া' সাংগীতিক স্কেল বা স্বরগ্রামে কোন শব্দের স্থান কোথায় তাহা ঠিক করা যায়, তাহাকে ঐ শব্দের **তীক্ষ্ণতা** বা **পিচ্‌ (Pitch)** বলে। আলোর ক্ষেত্রে রঙের অনুভূতির সঙ্গে শব্দের ক্ষেত্রে পিচ-এর অনুভূতি তুলনীয়।

ভিন্ন জাতীয় স্বনকের কম্পনে উৎপন্ন দুটি শব্দের প্রাবল্য ও তীক্ষ্ণতা এক হইলেও অনুভূতির যে বৈশিষ্ট্যের সাহায্যে উহাদের আমরা আলাদা বলিয়া বুঝিতে পারি, তাহাকে শব্দের **জাতি** বা **কোয়ালিটি (Quality)** বলে। স্বরের জাতির জন্য বাঁশী ও সেতারের শব্দ আলাদা বলিয়া বুঝিতে আমাদের কোন অসুবিধা হয় না।

8-3. শব্দের প্রাবল্য, তীক্ষ্ণতা ও জাতি শব্দতরঙ্গের যে যে বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে জড়িত।

(ক) প্রাবল্য ও শব্দের তীব্রতা (Loudness and intensity)। কানে কি হারে শব্দশক্তি আসিয়া পৌছায় মুখ্যত তাহার উপর শব্দের প্রাবল্য নির্ভর করে। শব্দশক্তি পৌছিবার হারই শব্দতরঙ্গের তীব্রতা (Intensity)। তীব্রতা শব্দতরঙ্গের বিস্তার (Amplitude) ও কম্পাংকের (Frequency-র) বর্গের, এবং মাধ্যমের ঘনত্বের আনুপাতিক। তরঙ্গের এই রাশিগুলি স্বনকের আকার (size), কম্পাংক ও কম্পনের বিস্তারের উপর নির্ভর করে। উহারা বাড়িলে শব্দতরঙ্গের তীব্রতা বাড়ে।

প্রাবল্য তীব্রতার লগারিদ্‌মের (Logarithm-এর) মোটামুটি আনুপাতিক বলিয়া মনে হয়। তবে তীব্রতা কম থাকিলে বিভিন্ন কম্পাংকে একই তীব্রতা বিভিন্ন প্রাবল্যের অনুভূতি জাগায়। ঔজ্জ্বল্য কম থাকিলেও চোখ যেমন হলদে-সবুজ আলোক তরঙ্গে ($\lambda = 5{\cdot}5 \times 10^{-5}$ cm) সবচেয়ে বেশী সাড়া দেয়, কানও তেমনি 2000 – 2500 হার্ৎস্ কম্পাংকে সাড়া দেয় বেশী।

'ফোন' (Phon) নামক এককে শব্দের প্রাবল্য প্রকাশ করা হয়। শব্দের তীব্রতা ভৌত রাশি; উহার একক erg per cm^2 per second। ফোনের সঙ্গে তীব্রতার এই এককের কোন সহজ সম্পর্ক নাই। 'ফোন' কোন সিজিএস্ এককও নয়। ইহা বহু লোকের অনুভূতির গড় মান দিয়া নির্দিষ্ট।

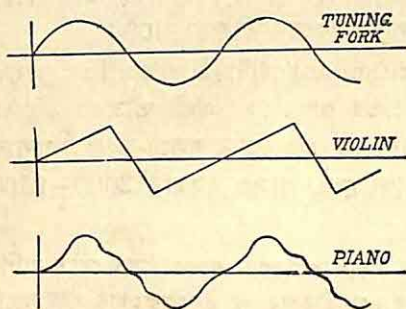
(খ) পিচ্ ও কম্পাংক (Pitch and frequency)। পিচ্ প্রধানত কম্পাংকের উপর নির্ভর করে; কিন্তু পিচ্ ও কম্পাংক এক নয়। পিচ্ অনুভূতি; অনুভূতি মাপা যায় না। কম্পাংক ভৌত রাশি; উহা হার্ৎস্ (Hertz, Hz) এককে মাপা হয়। সেকেণ্ডে একটি কম্পন হইল এক হার্ৎস্। শব্দের প্রাবল্য এবং তরঙ্গরূপের (Wave form-এর) উপরও পিচ্ কিছুটা নির্ভর করে। নির্দিষ্ট কম্পাংকের বিশুদ্ধ স্বরের প্রাবল্য বাড়াইলে উহার পিচ্‌ও বদলায়। কম্পাংক 1000 হার্ৎসের বেশী হইলে প্রাবল্যের সঙ্গে পিচের বিশেষ পরিবর্তন হয় না। 'মেল' (Mel) নামক এককে পিচ্ প্রকাশ করা হয়। 'মেল' হার্ৎসের মত কোন একক নয়। ইহা বহুলোকের অনুভূতির গড় মান দিয়া নির্দিষ্ট হয়।

পিচ্ ও কম্পাংক এক না হইলেও উহারা একই এরূপ একটি ভ্রান্ত ধারণা অনেক ক্ষেত্রে এখনও দেখিতে পাওয়া যায়। কম্পাংক নির্ণয় অর্থে 'পিচ্ নির্ণয়' কথাটি অনেকেই ব্যবহার করেন। শুদ্ধ কথাটির ব্যবহারই বাঞ্ছনীয়। কম্পাংক-নির্ণয় যন্ত্রের সাহায্যে হয়; কিন্তু যন্ত্র পিচ্ নির্ণয় করিতে পারে না। পিচ্ বিভিন্ন লোকের অনুভূতি দিয়া ঠিক করা হয়।

(গ) শব্দের জাতি বা কোয়ালিটি (Quality) ও উহার তরঙ্গরূপ (Wave form)। শব্দের জাতি বা কোয়ালিটি আলোচনা করিবার আগে স্বর (note) ও সুর (tone) কথা দুইটি এই আলোচনায় যে বিশেষ অর্থে ব্যবহৃত হইবে তাহা

বলিয়া নেওয়া দরকার। সাংগীতিক ধ্বনি বা সুস্বর নিয়মিত কম্পনে উৎপন্ন হইয়া থাকিলেও উহাতে সাধারণত একাধিক কম্পাংকের কম্পন থাকে। একই **স্বর** বা **নোট (Note)**-এর অঙ্গীভূত বিভিন্ন কম্পাংকের কম্পন বুঝাইতে **সুর (tone)** বলিয়া আর একটি কথা ব্যবহার করা দরকার হয়। **সুর বলিতে বিশুদ্ধ স্বর, অর্থাৎ মাত্র একটি কম্পাংকের শব্দ বুঝাইবে।** ইহার শব্দতরঙ্গ হইবে সরল দোলীয়, এবং তরঙ্গরূপ (wave form) হইবে সাইন-বক্র।

বিশুদ্ধ না হইলে 'স্বরে' একাধিক 'সুর' থাকে। ইহাদের মধ্যে সব চেয়ে কম কম্পাংকের সুরকে **'মূলসুর' (Fundamental)** বলে। ইহাকেই স্বরের কম্পাংক বলিয়া ধরা হয়। মূলসুরের চেয়ে বেশী কম্পাংকের সুরগুলিকে যৌথভাবে **উপসুর (Overtones)** বলে। বাঁশী, সেতার প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে উপসুরগুলির কম্পাংক মূলসুরের পূর্ণ গুণিতক হয়। মূলসুরে আর উপসুরে কম্পাংকের এরূপ সম্পর্ক থাকিলে উপসুরগুলিকে **হার্মনিক** (Harmonic ; গুণিতক সুর) বলে। মূলসুরের দ্বিগুণ কম্পাংকের উপসুরকে বলা হয় দ্বিতীয় হার্মনিক (second harmonic), তিনগুণ কম্পাংকের উপসুর তৃতীয় হার্মনিক, ইত্যাদি। স্বর বিশুদ্ধ না হইলে উহার তরঙ্গরূপ (wave form) সাইন-বক্র হয় না।

চিত্র 8·1

[টিউনিং ফর্ক, বেহালা ও পিয়ানোয় উৎপন্ন একই প্রাবল্য ও কম্পাংকের স্বরের তরঙ্গরূপ।]

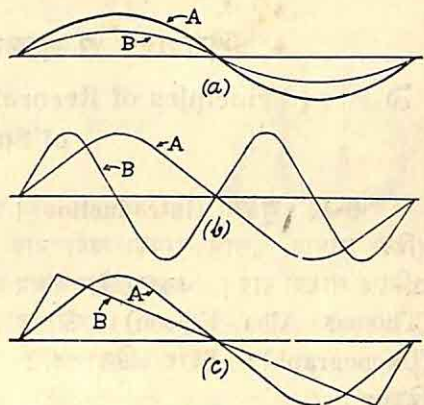
বিশুদ্ধ সুরের প্রাবল্য ও পিচ্ বর্ণনা করিলেই উহার বর্ণনা সম্পূর্ণ হয়। কিন্তু স্বর জটিল হইলে উহার বর্ণনা আরও বিস্তারিত হওয়া দরকার হয়। এরূপ ক্ষেত্রে প্রাবল্য ও পিচ ছাড়া স্বরের তরঙ্গরূপ বলিতে পারিলে উহার বর্ণনা সম্পূর্ণ হয়। বিভিন্ন প্রকার স্বনক হইতে উৎপন্ন স্বরের প্রাবল্য ও পিচ্ সমান করিলেও উহাদের তরঙ্গরূপে প্রভেদ থাকে (8·1 চিত্র)। ইহার কারণ উহাদের উপসুরগুলির সংখ্যা, বিস্তার (amplitude) ও কম্পাংকের বিভিন্নতা। তরঙ্গরূপের বিভিন্নতা দিয়া শব্দের জাতির অর্থাৎ কোয়ালিটির বিভিন্নতা ধরা যায়। স্বরের জাতি তরঙ্গরূপের উপর নির্ভর করে। বিশুদ্ধ স্বর বা সুর (tone) একবর্ণী আলোর মত। স্বর অবিশুদ্ধ হইলে উহা বিভিন্ন রঙের আলোর মিশ্রণের মত।

8-4. শব্দতরঙ্গের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে মিউজিকাল সাউণ্ডের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যের সম্পর্ক। শব্দতরঙ্গের তিনটি বৈশিষ্ট্য—উহার (১) বিস্তার, (২) কম্পাংক ও (৩) তরঙ্গরূপ। এই তিনটিকে মোটামুটিভাবে মিউজিকাল সাউণ্ডের তিন বৈশিষ্ট্য (ক) লাউডনেস বা প্রাবল্য, (খ) পিচ্ বা তীক্ষ্ণতা ও (গ) কোয়ালিটি বা জাতির সঙ্গে সম্পর্কিত মনে করা যায়। 8·2 চিত্রে সম্পর্কগুলি দেখান হইয়াছে।

8·2(*a*) চিত্রে উভয় তরঙ্গরূপ সাইন-বক্রীয়, এবং উভয়ের কম্পাংক (বা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য) সমান। উহাদের পিচ্ ও কোয়ালিটি একই, কিন্তু বিস্তার আলাদা। এরূপ দুই শব্দে প্রাবল্যের প্রভেদ পাওয়া যাইবে। তরঙ্গের বিস্তার বেশী হইলে শব্দের প্রাবল্যও বেশী হয়।

চিত্র 8·2

8·2(*b*) চিত্রে উভয় তরঙ্গরূপ সাইন-বক্র, বিস্তার সমান, কিন্তু উহাদের কম্পাংক আলাদা। এক্ষেত্রে শব্দ দুইটির পিচ্-এ প্রভেদ হইবে। উচ্চ কম্পাংকে পিচ্ও বেশী।

8.2(*c*) চিত্রে উভয় তরঙ্গের কম্পাংক ও বিস্তার সমান, কিন্তু উহাদের তরঙ্গরূপ আলাদা। এক্ষেত্রে শব্দ দুইটির কোয়ালিটিতে প্রভেদ হইবে।

8-5. নয়্জ্ (Noise) বা অপস্বর। আধুনিক শব্দবিজ্ঞানে নয়্জ্ বলিতে অবাঞ্ছিত শব্দ বুঝায়। আগে নয়্জ্ কথাটিতে অনিয়মিত কম্পনে উৎপন্ন শব্দ বা যে শব্দের বৈশিষ্ট্য স্থির থাকে না বা যে শব্দ ক্ষণস্থায়ী এরূপ শব্দ বুঝাইত। সংক্ষেপে বলা হইত যে শব্দের কোন স্থির পিচ্ নাই তাহাই নয়্জ্। নানাপ্রকার স্বনক হইতে একসঙ্গে উৎপন্ন অনিয়মিত শব্দের মিশ্রণও নয়্জ্। আধুনিক সংজ্ঞা অনুসারে শ্রোতা শুনিতে না চাহিলে সংগীতও তাহার কাছে নয়্জ্।

নয়্জ্ আমাদের নানাপ্রকার ক্ষতি করিতে পারে। অবাঞ্ছিত শব্দে মনোযোগ বিক্ষিপ্ত হয় ও বিরক্তির সৃষ্টি করে। বাঞ্ছিত শব্দ শোনাতে ইহা বাধা দেয়। নয়্জ্ খুব জোরাল বা দীর্ঘস্থায়ী হইলে উহা কানের ক্ষতি করিতে পারে বা শরীরে অন্য উপসর্গ আনিতে পারে। কারখানার নয়্জ্ শ্রমিকের দক্ষতা কমায়। এইসব কারণে বর্তমানে অফিস, কারখানা প্রভৃতি স্থানে নয়্জের প্রাবল্য কিভাবে কম রাখা যায় তাহা লইয়া প্রচুর গবেষণা হইয়াছে ও হইতেছে।

অনুশীলনী

1. মিউজিক্যাল সাউণ্ড ও নয়্জে প্রভেদ কি ? মিউজিক্যাল সাউণ্ডের বৈশিষ্ট্যগুলির সংজ্ঞা দাও।

2. শব্দের প্রাবল্য, তীক্ষ্ণতা ও জাতি শব্দতরঙ্গের কি কি বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে প্রধানত জড়িত বুঝাইয়া বল।

3. শব্দের জাতি (Quality) শব্দতরঙ্গের কোন্ বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে বুঝাইয়া বল।

4. স্বর (note), সুর (tone), মূলসুর (fundamental), উপসুর (overtone) ও হার্মনিক কথা কয়টির অর্থ পরিষ্কার করিয়া বল।

৯ শব্দগ্রহণ ও শব্দের পুনর্জননের তত্ত্ব (Principles of Recording and Reproduction of Sound)

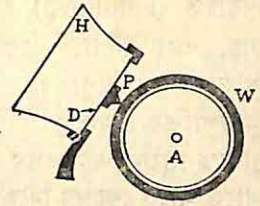
9-1. সূচনা (Introduction)। কথা, গান বা কোন শব্দ এমন ভাবে ধরিয়া রাখার কোন ব্যবস্থা করা যায় কি না যাহাতে পরে ইচ্ছামত উহা আবার শুনিতে পাওয়া যায়? এরূপ চেষ্টায় প্রথম সাফল্য অর্জন করেন টমাস অ্যালবা এডিসন (Thomas Alba Edison)। তাঁহার যন্ত্রের নাম দেওয়া হইয়াছিল ফনোগ্রাফ (Phonograph)। ইহার ক্রিয়াপদ্ধতি সম্পূর্ণ যান্ত্রিক (mechanical) এবং তত্ত্ব নিম্নরূপ:

আমরা জানি টানটান কোন পাতলা পর্দার উপর শব্দতরঙ্গ পড়িলে পর্দা তরঙ্গের চাপের পরিবর্তন অনুযায়ী ঈষৎ কাঁপিবে। পরে কোন ভাবে পর্দাকে যদি ঠিক ঐ ভাবেই কাঁপান যায়, তাহা হইলে পর্দা বায়ুতে যে কম্পন সৃষ্টি করিবে তাহা প্রথম শব্দতরঙ্গের মতই হইবে। এই ভাবে, যে শব্দতরঙ্গে পর্দা কাঁপিয়াছিল সেই শব্দতরঙ্গই আবার সৃষ্টি করা যাইবে। ফনোগ্রাফের ক্রিয়ার ইহাই ছিল মূল তত্ত্ব।

শব্দতরঙ্গে পর্দার কম্পন হয় তরঙ্গে চাপের পরিবর্তন অনুযায়ী। সময়ের সহিত শব্দতরঙ্গে চাপের পরিবর্তনের রূপকেও তরঙ্গরূপ (Wave form) বলা যায়। 'শব্দগ্রহণ' (Recording of sound) বলিতে শব্দের তরঙ্গরূপকে কোন ভাবে ধরিয়া রাখা বুঝায়। বর্তমানে ইহা করিবার তিনটি উপায় উদ্ভাবিত হইয়াছে—(১) যান্ত্রিক (Mechanical), (২) আলোর সাহায্যে (Optical), ও (৩) চুম্বকনের সাহায্যে (Magnetic)। ফনোগ্রাফ বা উহার উন্নততর সংস্করণ গ্রামোফোন রেকর্ডে শব্দগ্রহণ যান্ত্রিক (Mechanical recording), যদিও বর্তমানে ইহা করিতে বৈদ্যুত শক্তি প্রয়োগ করা হয়। টকি (Talkie) সিনেমায় যে কথা বা গান শুনিতে পাও তাহার তরঙ্গরূপ আলোর সাহায্যে ফিল্‌মে ধরা (Optical recording)। কোন খেলা বা অন্য কোন ঘটনার ধারাবাহিক বিবরণ পরে যখন রেডিওতে শোন, তাহা টেপ (Tape) হইতে পাওয়া। টেপ বা চৌম্বক ফিতায় চুম্বকনের পরিবর্তন ঘটাইয়া শব্দতরঙ্গের তরঙ্গরূপ ধরিয়া রাখা হইয়াছিল। ইহাকে চুম্বকনের সাহায্যে শব্দগ্রহণ (Magnetic বা Tape recording) বলে।

আমরা এখানে উপরে বলা উপায় তিনটিতে কি করিয়া শব্দগ্রহণ ও শব্দের পুনর্জনন হয়, তাহার তত্ত্ব সংক্ষেপে বলিব।

9-2. ফনোগ্রাফ (Phonograph)। এডিসনের উদ্ভাবিত (1878 খ্রীঃ) ফনোগ্রাফই শব্দগ্রহণ ও শব্দের পুনর্জননের প্রথম সফল যন্ত্র। উহার গঠন ও ক্রিয়া 9.1 চিত্রের সাহায্যে বোঝা যাইবে।

যে শব্দ গ্রহণ করিতে হইবে তাহা একটি চোঙ H-এর মুখে বলা হয়। চোঙের সরুমুখ পাতলা পরদা D দিয়া বন্ধ। D-র কেন্দ্রে তীক্ষ্ণ একটি পিন P D-র অভিলম্বে আঁটা। চোঙের চওড়া মুখ শব্দতরঙ্গ সংগ্রহ করিয়া D পর্দায় ফেলে। তরঙ্গের চাপের পরিবর্তন অনুযায়ী D কাঁপে। ইহাতে P নিজের দৈর্ঘ্য বরাবর ওঠানামা করে।

চিত্র 9·1

চিত্রের A একটি বেলন। উহার বাহিরে W বিশেষ এক প্রকার মোমের মসৃণ ও কিছু পুরু আস্তরণ। A বেলনকে ছোট একটি মোটরের সাহায্যে সুষম বেগে ঘুরান যায়। ঘুরিবার সঙ্গে সঙ্গে একটি স্ক্রুর ক্রিয়ায় বেলন নিজ অক্ষ বরাবর সুষম বেগে আগায়। P পিনটি W-র গায় অল্প চাপিয়া থাকে। H চোঙ স্থির থাকিলে A বেলন ঘুরিয়া চলিলে W-র গায় পেঁচান স্প্রিংএর মত একটা খাঁজ কাটা হইতে থাকে।

শব্দতরঙ্গে D কাঁপিলে P পিন ওঠে নামে। তাহাতে ঐ খাঁজে গর্ত কোথাও বেশী গভীর, কোথাও কম গভীর হয়। খাঁজের বিভিন্ন জায়গায় গভীরতা শব্দতরঙ্গের চাপের অনুযায়ী হয়। এই উঁচুনিচু খাঁজই শব্দের তরঙ্গরূপের প্রতীক। ইহাকেই আমরা শব্দের 'রেকর্ড' (Record) বলি। ফনোগ্রাফে শব্দগ্রহণ এইভাবে হয়। শব্দগ্রহণের সময় মোমের আস্তরণ W নরম থাকে। পরে উহা শক্ত হইয়া যায়।

রেকর্ড হইতে শব্দ ফিরিয়া পাইতে P-পিনটিকে রেকর্ডের গোড়ায় (অর্থাৎ W-র পেঁচান খাঁজের গোড়ায়) বসাইয়া শব্দগ্রহণের সময় A-বেলনকে যে বেগে ঘুরান ও সরান হইয়াছিল, ঠিক সেই বেগে আবার ঘুরান ও সরান হয়। ইহাতে P পিনের আগা খাঁজের গর্তের গভীরতা অনুযায়ী ওঠে নামে ও D পর্দাকে কাঁপায়। D-র কম্পন শব্দগ্রহণের সময়ের কম্পনের ঠিক অনুরূপ। এই কম্পনে গৃহীত শব্দ পুনর্জনিত হয়।

ফনোগ্রাফে দুইটি বড় ত্রুটি ছিল—

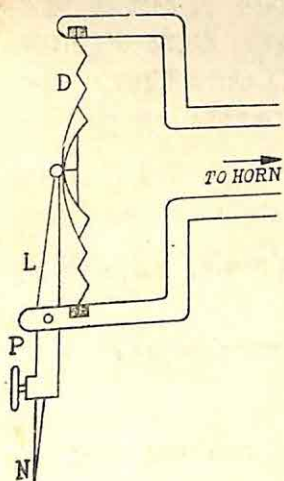
(১) মোমের উপরে শব্দের রেকর্ড, অর্থাৎ উঁচুনিচু খাঁজগুলি, তাড়াতাড়ি নষ্ট হইয়া যাইত।

(২) শব্দের পুনর্জননের সময় D পর্দা এবং H চোঙের স্বভাবকম্পনের সঙ্গে শব্দের বিভিন্ন কম্পাংকের অনুনাদ ঘটায় শব্দ বিকৃত হইত।

9-3. গ্রামোফোন রেকর্ড (Gramophone records) শব্দগ্রহণের উপায়ের ক্রমশ উন্নতি হইতে থাকে। আধুনিক গ্রামোফোন রেকর্ডের চাকতি (ফলক) প্লাষ্টিকের সঙ্গে অন্যান্য পদার্থের মিশ্রণে তৈয়ারী। উহা হালকা এবং শক্ত। যে শব্দ ধরিতে হইবে তাহা প্রথমে কোন ভাল মাইক্রোফোনের পর্দায় পড়ে। মাইক্রোফোন শব্দতরঙ্গের চাপের পরিবর্তনকে প্রত্যাবর্তী (Alternating) বিদ্যুৎপ্রবাহে পরিণত

করে। অ্যাম্‌প্লিফায়ার (Amplifier)-এর সাহায্যে এই প্রত্যাবর্তী প্রবাহ বহুগুণ বিবর্ধিত (amplified) হইয়া শব্দগ্রাহক যন্ত্রের 'কাটিং হেড' (cutting head)-এ যায়, এবং সেখানে একটি বিশেষ গঠনের নরুন (stylus)-কে তাহার দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি কাঁপায়। এই কম্পনের বিস্তার বিবর্ধিত বিদ্যুৎপ্রবাহের মানের আনুপাতিক। নরুনের নিচে শব্দগ্রহণ করিবার সমতল পাতলা রেকর্ড-ফলকখানা ঘুরিতে থাকে, এবং ফলক ঘোরার সঙ্গে সঙ্গে নরুন রেকর্ডের পরিধির দিক হইতে আস্তে আস্তে কেন্দ্রের দিকে সরিতে থাকে। কাটিং হেডে (অর্থাৎ রেকর্ড কাটার যন্ত্রে) কোন বিদ্যুৎপ্রবাহ না আসিলে উহা রেকর্ড-পাতে সমান চওড়া ও গভীর এবং ক্রম-হ্রস্বায়মান ব্যাসের একটি পেঁচান (spiral) খাঁজ (groove) কাটিয়া চলে। মাইক্রোফোন হইতে প্রত্যাবর্তী প্রবাহ বিবর্ধিত হইয়া ইহাতে আসিলে, নরুন পেঁচান খাঁজের আড়াআড়ি বিভিন্ন বিস্তারে খাঁজ কাটিয়া চলে। এই পেঁচান এবং আঁকাবাঁকা খাঁজটিই শব্দের রেকর্ড (বা লিপি)। খাঁজের দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি নরুনের বিচলন প্রত্যাবর্তী প্রবাহের, অতএব মাইক্রোফোনে আপতিত চাপতরঙ্গের পরিবর্তনের আনুপাতিক। নরুনের পার্শ্বগতিই শব্দের তরঙ্গরূপের প্রতীক।

মূল রেকর্ড হইতে বিশেষ প্রক্রিয়ায় উহার অনুলিপি (copies) প্রস্তুত হয়। অনুলিপিগুলিই বিক্রয় করা হয়।

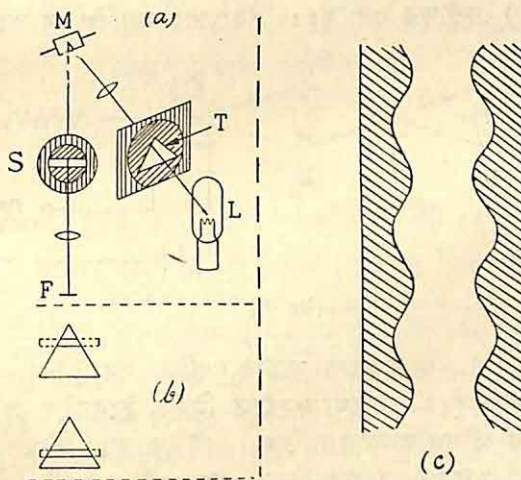
9-3.1 গ্রামোফোন রেকর্ড হইতে শব্দের পুনর্জনন (Reproduction of sound from a gramophone record)। ইহা (১) যান্ত্রিক, (২) বৈদ্যুতিক, বা (৩) বিদ্যুৎ চুম্বকীয় উপায়ে হইতে পারে। আমরা কেবল যান্ত্রিক ব্যবস্থার কথাই বলিব। পুনর্জননের প্রধান অঙ্গ সাউণ্ড বক্স্ (Sound box, 9·2 চিত্র) উহাতে D একটি বিশেষ গঠনের পাতলা ধাতব পর্দা। L একটি ধাতব লিভার; P উহার আলম্ব (fulcrum)। L-এর এক প্রান্ত D-পর্দার মাঝখানে লাগান; অন্য প্রান্তে N পিনটি লাগান। N পিনটি LN দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি (ছবিতে ডাইনে-বাঁয়ে) নড়িলে D-পর্দা কাঁপে ও সাউণ্ড বক্সের ভিতরের বায়ুকে কাঁপায়। এই কম্পন গ্রামোফোনের হর্নে (Horn-এ) বর্ধিত হইয়া বায়ুতে শব্দতরঙ্গ ছড়ায়।

চিত্র 9·2

যে বেগে শব্দ গ্রহণ করা হইয়াছিল, রেকর্ড হইতে শব্দ পাইতে উহাকে সেই বেগে স্প্রিং চালিত বা বিদ্যুৎ চালিত মোটরের সাহায্যে ঘুরান হয়। সাউণ্ড বক্স্ লাগান থাকে 'টোন আর্ম' (Tone arm)-এর প্রান্তে। রেকর্ড চালাইয়া দিয়া টোন আর্মকে টানিয়া N-পিনটি রেকর্ডের পরিধির কাছে আস্তে বসাইয়া দিলে, পিন্ রেকর্ডের খাঁজ বরাবর সরিতে থাকে। আঁকাবাঁকা রেখায় চলিতে পিন একটু এপাশ ওপাশ নড়ে এবং D পর্দাকে

কাঁপায়। এই কম্পন রেকর্ডের রেখায় ধরা তরঙ্গরূপের অনুযায়ী হওয়ায়, সাউণ্ড বক্স্ ও হর্ন মারফত আদি শব্দ শুনিতে পাওয়া যায়।

বর্তমানে উপরে বর্ণিত সাউণ্ড বক্স্ প্রায় অপ্রচলিত হইয়া আসিয়াছে। তাহার বদলে যে ব্যবস্থা গৃহীত হইয়াছে তাহাকে 'পিক্-আপ' (Pick-up) বলে। ইহাতে পিনের কম্পন হইতে কোয়ার্টজ (Quartz) ক্রিষ্ট্যালের সাহায্যে রেকর্ডে আবদ্ধ তরঙ্গরূপ অনুযায়ী প্রত্যাবর্তী বিদ্যুৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। ঐ প্রবাহ অ্যাম্প্লিফায়ারে বিবর্ধিত হইয়া লাউডস্পীকারের 'কোন্' (Cone)-কে কাঁপাইয়া মূল শব্দ উৎপন্ন করে। পিক্-আপ অন্যান্য রকমেরও হইতে পারে।

9-4. ফিল্ম্-এ শব্দগ্রহণ ও উহার পুনর্জনন (Film recording and reproduction)।

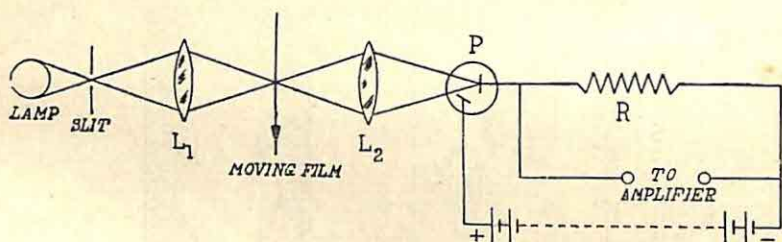
ফিল্ম্ রেকর্ডিং (Film recording)। টকি (Talkie) বা সবাক্ সিনেমায় এই উপায়ে শব্দের লিপিলেখন হয়। সাধারণ টকি ফিল্ম্ 35 mm চওড়া। তাহার এক পাশের প্রায় 2·5 mm পরিমিত জায়গা শব্দলেখনের জন্য নির্দিষ্ট থাকে। ইহাকে 'সাউণ্ড ট্র্যাক' (sound track) বলে। শব্দলেখন যন্ত্রের সাহায্যে এই অংশে যে আলো

চিত্র 9·3

ফেলা হয় তাহার পরিমাণ শব্দচাপ অনুযায়ী বদলায়। আলোর ক্রিয়ায় ফিল্মে মুক্ত সিলভার (silver) কণার ঘনত্ব এই কারণে ফিল্মের বিভিন্ন জায়গায় বিভিন্ন হয়। সাউণ্ড ট্র্যাক বরাবর মুক্ত সিলভার কণার পরিবর্তী ঘনত্বই শব্দের লিপি।

বর্তমানে যে উপায়ে আলোর পরিমাণকে শব্দচাপের অনুযায়ী করা হয় তাহার একটি ব্যবস্থা 9·3 চিত্রে দেখান হইয়াছে। 9·3(a) চিত্রের M প্রায় $\frac{1}{4}$ ইঞ্চি বাহুর চৌকা একখানা খুব হালকা আয়না। মাইকে (মাইক্রোফোনে) গৃহীত শব্দচাপ বৈদ্যুতচাপে

পরিবর্তিত হয়। ইহা পরিবর্ধিত হইয়া একটি কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত হওয়ায় কুণ্ডলীতে যে বিদ্যুতপ্রবাহ হয় তাহা M আয়নাকে অনুভূমিক অক্ষে নিজের মান অনুযায়ী একটু ঘুরায়। চিত্রের L স্থির ঔজ্জ্বল্যের দীপক। উহা হইতে আলো একটি তে-কোনা ছেঁদা T-র ভিতর দিয়া M আয়নায় পড়ে। S একটি অনুভূমিক শ্লিট (slit)। T-র পরবর্তী লেন্সের সাহায্যে T-র বিম্ব S-এর তলে গঠিত হয়। S-এর পরের লেন্স্ S হইতে আসা আলোকে ফিল্মের শব্দ লেখার অংশ F-এর উপর কেন্দ্রীভূত হয়।

M শব্দচাপের আনুপাতিক প্রবাহে ঘোরে বলিয়া T-র বিম্ব S-এর তলে ওঠানামা করে। ইহাতে S-এর আলোকিত অংশ বাড়ে কমে (চিত্রের (*b*) অংশে ইহা বুঝান হইয়াছে)। চলন্ত ফিল্ম্ চিত্রতলের অভিলম্বে সুষম বেগে সরে। ইহাতে ফিল্মের F অংশে স্থির ঔজ্জ্বল্যের যে আলোকরেখা পড়ে, শব্দচাপের অনুযায়ী তাহার দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়। চিত্রের (*c*) অংশে ইহা বুঝান হইয়াছে ; উহাতে মাঝখানের সাদা অংশের প্রসারের পরিবর্তন শব্দচাপ অনুযায়ী। (যে ফিল্ম্ দেখান হয় তাহা শব্দতোলা ফিল্মের পজিটিভ)।

পুনর্জনন। পুনর্জননে একটি স্থির ঔজ্জ্বল্যের আলো হইতে একটি সরু ও ছোট শ্লিটের মধ্যদিয়া আগত আলোকে লেন্সের (L_1, 9·4 চিত্র) সাহায্যে ফিল্মের শব্দাংশে (sound track-এ) কেন্দ্রীভূত করা হয়। শব্দাংশের মধ্যদিয়া যে আলো যায় তাহা

চিত্র 9·4

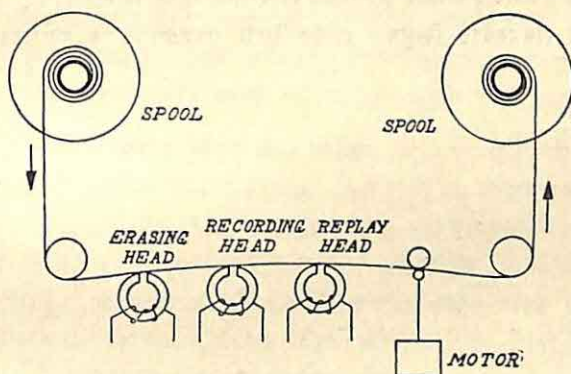
আর একখানা লেন্স্ L_2-র সাহায্যে ফটোইলেক্ট্রিক্ সেল (photo-electric cell) P-র ক্যাথোডে ফেলা হয়। ক্যাথোড হইতে নির্গত ইলেকট্রন স্রোত ক্যাথোডে আপতিত আলোর তীব্রতার আনুপাতিক। এই আলোর তীব্রতা মূল ফিল্মের শব্দাংশে আপতিত আলোর আনুপাতিক ; অতএব উহা মূল শব্দের তরঙ্গরূপের অনুযায়ী।

ইলেকট্রন স্রোতকে অ্যামপ্লিফায়ারের সাহায্যে বিবর্ধিত করিয়া লাউডস্পীকারে দেওয়া হয়।

9-5. চৌম্বক ফিতায় শব্দ গ্রহণ ও শব্দের পুনর্জনন (Magnetic tape recording and reproduction)।

টেপ রেকর্ডিং (Tape recording)। টেপ-রেকর্ডিং চৌম্বক প্রক্রিয়া। ইহাতে লম্বা এবং সরু ও পাতলা একটি চৌম্বক ফিতাকে শব্দচাপের অনুযায়ী অনুদৈর্ঘ্য-

ভাবে চুম্বকিত (Longitudinally magnetize) করা হয়। শব্দের তরঙ্গরূপ ফিতায় অনুদৈর্ঘ্য চুম্বকনরূপে ধরা থাকে। ফিতা প্ল্যাস্টিক পদার্থে তৈয়ারী, এবং উহাতে বিশেষভাবে তৈয়ারি করা Fe_3O_4 গুঁড়া লাগান থাকে।

ফিতা একটি রীলে (reel-এ) জড়ান থাকে, এবং কাজের সময় একটি মোটরের সাহায্যে উহাকে সুষম বেগে অন্য রীলে জড়ান হয়। এক রীল হইতে অন্য রীলে যাইতে ফিতা পর পর তিনটি চুম্বকের মাথার উপর দিয়া যায় (9·5 চিত্র)। প্রথম চুম্বক ফিতায় প্রায় 100,000 হার্ৎস্ কম্পাংকের জোরাল প্রত্যাবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্র (alternating magnetic field) প্রয়োগ করে। ফিতায় কোন চুম্বকন থাকিলে এই

চিত্র 9·5

ক্ষেত্রের ক্রিয়ায় উহা নষ্ট হয়, এবং ফিতা নতুনভাবে চুম্বকিত হইতে পারে। এই চৌম্বক ক্ষেত্রকে Erase field (বা মোছার ক্ষেত্র) এবং চুম্বককে Erasing head (বা মোছার চুম্বক) বলে। দ্বিতীয় চুম্বককে বলে Recording head (বা শব্দের লিপিলেখনের চুম্বক)। মাইক্রোফোন হইতে আগত, শব্দচাপ অনুযায়ী প্রত্যাবর্তী, বিবর্ধিত প্রবাহ এই চুম্বকের ক্ষেত্রকে নিজ মানের অনুযায়ী পরিবর্তিত করে। এই ক্ষেত্র দিয়া যাইবার সময় ফিতার চুম্বক কণাগুলি ফিতার অনুদৈর্ঘ্যে ক্ষেত্রের পরিবর্তন অনুযায়ী চুম্বকিত হয়। (কাজের সুবিধার জন্য এই চুম্বকে 100,000 হার্ৎস্ কম্পাংকের প্রত্যাবর্তী প্রবাহও রাখা হয়। জটিলতা এড়াইবার জন্য এই প্রবাহের ক্রিয়া আমরা আলোচনা করিব না।) তৃতীয় বা শেষ চুম্বককে বলে Reproducing বা Play-back head ; ইহার ক্রিয়ায় শব্দের পুনর্জনন হয়। ইহাতে তারের একটি কুণ্ডলী জড়ান থাকে। ফিতা ইহার মাথা ঘেঁষিয়া যাইবার সময় ফিতার চুম্বকন অনুযায়ী কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ-চালক বল (electromotive force) আবিষ্ট করে। অ্যামপ্লিফায়ারের সাহায্যে এই বি. চা. ব. (e. m. f.) বিবর্ধিত হইয়া লাউডস্পীকারের ভয়েস কয়েলে (voice coil-এ) প্রযুক্ত হইলে স্পীকার হইতে মাইক্রোফোনে গৃহীত শব্দের মত শব্দ বাহির হয়। ফিতা দীর্ঘকাল অবিকৃত অবস্থায় রাখা যায়। পরে শুনিতে হইলে ইরেজিং হেড ও রেকর্ডিং

হেড বন্ধ রাখিয়া কেবল প্লে-ব্যাক হেডকে ক্রিয়া করিতে দিতে হয়। গান, ভাষণ, খেলার বর্ণনা ইত্যাদি অনেকক্ষেত্রেই এইভাবে ধরিয়া রাখিয়া পরে রেডিওতে শোনান হয়।

অনুশীলনী

1. শব্দগ্রহণ ও শব্দের পুনর্জননের স্থূলতত্ত্ব সংক্ষেপে বল। গ্রামোফোন রেকর্ডে বা ফিল্‌মে বা টেপ্-এ ইহা কি ভাবে করা হয় সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

2. শব্দগ্রহণ (recording of sound) অর্থে শব্দের তরঙ্গরূপ (wave form) কোনভাবে ধরিয়া রাখা বুঝায়। এই উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

3. অন্যান্য শব্দগ্রহণের ব্যবস্থার তুলনায় চৌম্বক টেপ্-এ শব্দগ্রহণের সুবিধা কি?

4. গ্রামোফোন রেকর্ডে, ফিল্‌মে ও চৌম্বক ফিতায় তরঙ্গরূপ কি কি প্রকারের পরিবর্তন দিয়া ধরা হয়?

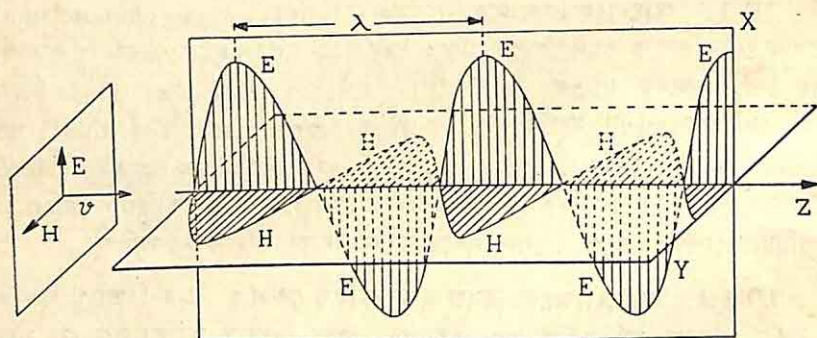
১০ আলোক তরঙ্গ
(Light waves)

10-1. আলোক এক প্রকার তরঙ্গ (Light is a wave phenomenon)। আলোক কোন প্রকার তরঙ্গ কি কণাবিশেষ ইহা লইয়া সপ্তদশ হইতে উনবিংশ শতাব্দীর মধ্যে বৈজ্ঞানিকদের মতৈক্য ছিল না। উনবিংশ শতাব্দীতে তত্ত্বীয় বিচারে ম্যাক্‌স্‌ওয়েল (Maxwell) সাব্যস্ত করেন আলোক অনুপ্রস্থ ধরনের বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ (Transverse electromagnetic waves)। জর্মন বৈজ্ঞানিক হার্ৎস্‌ (Hertz) পরীক্ষার সাহায্যে ইহার সত্যতা প্রমাণ করেন। আলোকতত্ত্বের ইতিহাস আলোচনা না করিয়া আমরা সংক্ষেপে আলোক সম্বন্ধে বর্তমান ধারণাগুলি বর্ণনা করিব।

10-1.1. আলোককে তরঙ্গ মনে করিব কেন? 2-4 বিভাগে তরঙ্গের যে সকল সাধারণ ধর্ম বর্ণনা করা হইয়াছে, দেখা গিয়াছে আলোকের সে সকল ধর্মগুলিই আছে। আলোকের (১) **প্রতিফলন** ও (২) **প্রতিসরণ**-এর সঙ্গে তোমরা পরিচিত। শব্দতরঙ্গের মত আলোকতরঙ্গের (৩) **ব্যতিচার** (Interference) হয় (10-5 বিভাগ দেখ)। অন্ধকার ঘরে আলোক কিরণকে কোন অনচ্ছ বাধা অতিক্রম করিয়া যাইতে দিয়া ছায়াঅঞ্চলের ধারগুলি পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে জ্যামিতিক ছায়ারেখার ছায়ার দিকের অংশে আলোর তীব্রতা হঠাৎ শূন্যে পরিণত হয় নাই; ক্রমশ কমিয়া কার্যত শূন্য হইয়াছে। ইহার অর্থ বাধার পাশ কাটাইয়া অল্প হইলেও কিছু আলো ছায়া অংশে প্রবেশ করে। এই ঘটনাকে আলোর (৪) **বিবর্তন** (Diffraction) বলে। আলোর (৫) **বিক্ষেপণ**-র (Scattering)-এর জন্য ঘরের ভিতরের অদৃশ্য ধূলি-কণাগুলি সূর্যের আলোককিরণের মধ্যে ঢুকিলে উহাদের দেখা যায়। আকাশের নীল রং, উদয়ে ও অস্তে সূর্যের লাল রং আলোর বিক্ষেপণের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়। আলোর (৬) **ধ্রুবণ** (Polarization ; 10-3 বিভাগ) ঘটায় প্রমাণিত হয় আলো **অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।**

ব্যতিচার আলোকতরঙ্গের (৭) **উপরিপাতে** ঘটে। তরঙ্গের সকল ধর্ম বর্তমান থাকায় আলোকে তরঙ্গ বলিয়া মানিতে কোন সন্দেহ থাকে না।

আলোক কি প্রকার মাধ্যমে তরঙ্গ?—এই প্রশ্নটি ইহার পরেই আসিয়া পড়ে। উহা কঠিন, তরল ও বায়বীয় বাস্তব মাধ্যমের ভিতর দিয়া যাইতে পারে বলিয়া সন্দেহ হইতে পারে উহা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। কিন্তু ধ্রুবণে (polarization-এ) প্রমাণিত হয় উহা অনুপ্রস্থ। তা ছাড়া, আলোক সম্পূর্ণ শূন্যস্থান দিয়াও যায়। সূর্য, তারা প্রভৃতি হইতে আলো আসায় ইহা প্রমাণিত হয়, কারণ এগুলি ও পৃথিবীর মধ্যে কোন বাস্তব মাধ্যম নাই। অতএব আলোকতরঙ্গের বিস্তারের জন্য কোন বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন নাই; ইহা সম্পূর্ণ শূন্যদেশে (in vacuum) চলিতে পারে। এক

সময়ে আলোক তরঙ্গের বিস্তারের জন্য ঈথার (Aether) নামক মাধ্যম কল্পনা করা হইয়াছিল। কিন্তু ইহার প্রয়োজন নাই। ঈথার আছে কি নাই সে আলোচনাও নিরর্থক, কারণ ইহার কোনটিই প্রমাণ বা অপ্রমাণ করা যায় না। আলোকতরঙ্গের আলোচনায় ঈথারের অবতারণা করার দরকার নাই।] আলোকতরঙ্গ অবাস্তব মাধ্যমে (non-material medium-এ) অনুপ্রস্থ তরঙ্গ।

চিত্র 10·1

আলোক তরঙ্গে কি তরঙ্গিত হয়?—এ প্রশ্নের উত্তর ম্যাক্সওয়েলই প্রথম দিয়াছিলেন। তাঁহার তত্ত্ব অনুসারে আলোর কম্পন হইল একটি বৈদ্যুত ভেক্টর E এবং উহার অভিলম্বে একটি চৌম্বক ভেক্টর H-এর কম্পন। E ও H যথাক্রমে বৈদ্যুত ও চৌম্বক ক্ষেত্রপ্রাবল্য (বা ক্ষেত্র-তীব্রতা; Intensity or Field strength) বুঝায়। উভয় ভেক্টরই তরঙ্গগতির অভিমুখের সমকোণে থাকে, এবং উভয়ের কম্পনের দশাও এক, অর্থাৎ একটি যখন চরম অন্যটিও তখন চরম। E, H এবং তরঙ্গ-বেগ v-র অভিমুখের সম্পর্ক 10·1 চিত্র হইতে বোঝা যাইবে। ডান হাতের প্রথম তিনটি আঙুল পরস্পর সমকোণে ছড়াইয়া ধর। বুড়া আঙুল E-র দিক ও তর্জনী (দ্বিতীয় আঙুল) H-এর দিক বুঝাইলে মধ্যমা (তৃতীয় আঙুল) তরঙ্গ-গতির অর্থাৎ v-এর অভিমুখ বুঝাইবে। X-অক্ষে E ও Y-অক্ষে H থাকিলে v হইবে Z-অক্ষে। 10·1 চিত্রে E ও H-এর সমদশায় দোলনও দেখান হইয়াছে।

আলোক তরঙ্গে দুইটি ভেক্টরের কম্পন থাকিলে আলোকের কম্পন বলিতে কি বুঝিব? পরীক্ষায় জানা যায় আমরা যাহাকে আলোকের কম্পন বা আলোক-ভেক্টরের কম্পন বলি তাহা হইল বৈদ্যুত ভেক্টর E-র কম্পন। E এবং H উভয়ের দোলনই সরল দোলন।

10-2. আলোর বেগ (Velocity of light)। আলো **শূন্যস্থানে** (in vacuum) প্রায় 3×10^{10} cm/s বেগে চলে। কোন পদার্থকণা বা সংকেত (signal) ইহার চেয়ে বেশী বেগে যাইতে পারে না। না-পারাটা কোন যান্ত্রিক অক্ষমতা বা যান্ত্রিক ব্যবস্থা সংক্রান্ত বিষয় নয়; ইহা প্রকৃতির নিয়ম। প্রকৃতি (Nature) যেন

নিয়ম বাঁধিয়া দিয়াছেন যে পদার্থ বা শক্তি কিছুই এই বেগ ছাড়াইতে পারিবে না। এমন কি পদার্থে এই বেগ দেওয়াও যাইবে না।

এই তীব্র বেগ মাপনের চেষ্টা বহুকাল হইতেই করা হইয়াছে। চেষ্টায় প্রথম সাফল্য পান ডেনমার্ক-দেশীয় জ্যোতির্বিজ্ঞানী রোমার (Romer)। তিনি বৎসরের দুই অর্ধেকে বৃহস্পতি (Jupiter) গ্রহের একটি উপগ্রহের গ্রহণকালের প্রভেদ মাপিয়া আলোর বেগের মোটামুটি মান পান। সম্পূর্ণ পার্থিব (terrestrial) পরীক্ষায় বেগ মাপিয়া প্রথম সফলতা পান ফরাসী বৈজ্ঞানিক ফিজু (Fizeau ; 1849 খ্রীঃ)। তাহার পর ফুকো (Foucault ; 1862 খ্রীঃ), মাইকেলসন (Michelson) এবং আরও অনেকে আরও বেশী সূক্ষ্ম মান পাইবার জন্য বিভিন্ন উপায়ে বেগ মাপেন। মাইকেলসন (1852-1931) আমেরিকান বিজ্ঞানী। প্রায় পঞ্চাশ বৎসর ধরিয়া তিনি এবং তাঁহার সহকর্মীরা মাপন-যন্ত্রের ক্রমিক উন্নতি করিয়া এবং ব্যবস্থারও কিছু অদলবদল করিয়া তখনকার দিনে যত সূক্ষ্ম মাপন সম্ভব ছিল সেইরূপে মাপিয়া আলোর বেগের মাপ পান $c = 299,796 \pm 4$ km/s। দেখা যায় ত্রুটি তিন লক্ষে মাত্র চার ভাগ।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পর সময় ও দূরত্ব মাপনের সূক্ষ্মতা অনেক বাড়ে। তখন নূতনতর ও বিভিন্ন উপায়ে বহু বিজ্ঞানী আলোর বেগ আরও সূক্ষ্মভাবে মাপেন। 'লেজার' (Laser) আলোর নাম তোমরা শুনিয়া থাকিবে। শেষের দিকের অনেক পরীক্ষায় লেজার আলো ব্যবহৃত হইয়াছে। 1964 সাল পর্যন্ত বিভিন্ন সূক্ষ্ম মাপন বিচার করিয়া বিজ্ঞানীরা স্থির করিয়াছিলেন আলোর বেগ

$$c = 299,792{\cdot}5 \pm 0{\cdot}3 \text{ km/s}।$$

ইহাতে ত্রুটি দশ লক্ষে এক ভাগ।

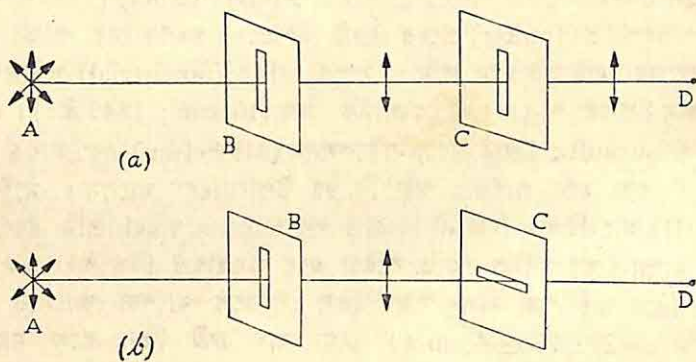
ইহার পরেও বিভিন্ন রাষ্ট্রীয় পরীক্ষাগারে (National laboratories) সূক্ষ্মতর মাপনের চেষ্টা চলিয়াছে। 1972 সালে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের রাষ্ট্রীয় পরীক্ষাগারে (National Bureau of Standards-এ) তাঁহারা মান বাহির করিয়াছেন

$$c = 299,792,456{\cdot}2 \text{ m/s}।$$

তাঁহাদের দাবী এ মাপনে ত্রুটি পূর্বতন যেকোন মাপনের তুলনায় শতাংশ মাত্র।

সূক্ষ্ম মাপনে ব্যবহৃত যন্ত্রাদি এত জটিল যে তাহার আলোচনা আমাদের এই গণ্ডীর মধ্যে আনা যায় না।

পদার্থের ভিতরে আলোর বেগ শূন্যস্থানে বেগের চেয়ে কম। কোন পদার্থে কোন একবর্ণী আলোর প্রতিসরাংক μ হইলে ঐ পদার্থে ঐ একবর্ণী আলোর বেগ c/μ (= শূন্যস্থানে আলোর বেগ ÷ প্রতিসরাংক)। পদার্থে সাদা আলোর বেগ এ-রকম সহজ হিসাবে পাওয়া যায় না, কারণ উহাতে বিভিন্ন বর্ণের আলোর প্রতিসরাংক আলাদা।

10-3. ধ্রুবণ (Polarization*)। অনুপ্রস্থ তরঙ্গে মাধ্যমকণার কম্পন একই তলে আবদ্ধ রাখাকে ধ্রুবণ (বা সমবর্তন) বলে। ধ্রুবণই একমাত্র ধর্ম যাহার সাহায্যে তরঙ্গ অনুপ্রস্থ কি অনুদৈর্ঘ্য তাহা বোঝা যায়। ইহা কিরূপে সম্ভব তাহা সহজ একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থায় বুঝান যায়। ব্যবস্থাটি 10·2 চিত্রে দেখান হইল।

চিত্র 10·2

চিত্রে AD একগাছা শক্ত সুতা বা সরু পেঁচান স্প্রিং (ইহাকেও আমরা সুতাই বলিব)। উহার D-প্রান্তে আবদ্ধ এবং উহার A-প্রান্ত সুতার আড়াআড়ি (অনুপ্রস্থে) লম্বতলে যে কোন দিকে ইচ্ছামত কাঁপান যায়। সুতাগাছা দুখানা পাত B ও C-তে কাটা দুইটি রেখাছিদ্রের (slit-এর) ভিতর দিয়া গিয়াছে। B ও C-কে নিজতলে ইচ্ছামত ঘুরাইয়া রেখাছিদ্র দুটি পরস্পরের অভিলম্বে আনা যায়।

মনে কর, A-প্রান্তকে B ছিদ্রের সমান্তরালে AD-র অনুপ্রস্থে কাঁপান হইল। ইহাতে AD-তে জনিত অনুপ্রস্থ তরঙ্গ B ও C উভয় ছিদ্রের মধ্যদিয়া চলিয়া যাইতে পারিবে (10·2a চিত্র)। কিন্তু C-কে নিজতলে ঘুরাইয়া উহার রেখাছিদ্র B-র রেখাছিদ্রের অভিলম্বে আনিলে (10·2b চিত্র) C-র ছিদ্রের ভিতর দিয়া তরঙ্গগুলি যাইতে পারিবে না। এক্ষেত্রে অনুপ্রস্থ তরঙ্গগুলি B ও C-র মধ্যে থাকিবে ; কিন্তু C-র পরে আর কোন তরঙ্গ থাকিবে না।

এবার সুতাগাছার A-প্রান্ত পালা করিয়া একবার টানিয়া ও পরমুহূর্তে একটু ঢিলা করিয়া সুতায় অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি করা যাক। এক্ষেত্রে দুই রেখাছিদ্র সমান্তরালই থাকুক কি পরস্পর সমকোণেই থাকুক, সুতার অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ উভয় অবস্থায়ই দুই ছিদ্রের মধ্যদিয়া চলিয়া যাইবে, এবং C-র পরেও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ থাকিবে।

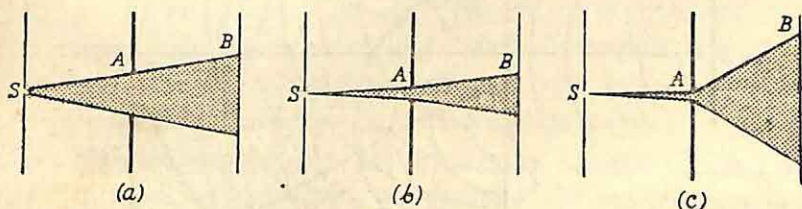
সুতার লম্বতলে A প্রান্তকে যে দিকেই কাঁপাইয়া অনুপ্রস্থ তরঙ্গ সৃষ্টি করি না কেন B-র ছিদ্র পার হইয়া উহার যে অংশ যাইবে, তাহাতে কম্পন হইবে B-ছিদ্রের সমান্তরালে। A-র কম্পনের দিক্ যদি অনবরত বদলান যায়, তাহা হইলেও B-র

* Polarization = ধ্রুবণ (ভারত সরকারের 'বিজ্ঞান শব্দাবলী') ; সমবর্তন ('চলন্তিকা')।

পর কম্পন B-ছিদ্রের সমান্তরালই থাকিবে। B পার হইয়া যে অনুপ্রস্থ কম্পন যায় তাহা সবসময়ই B-ছিদ্রের সমান্তরাল। এরূপ তরঙ্গকে আমরা রেখাধ্রুবিত তরঙ্গ (linearly polarized waves) বলি, কারণ তরঙ্গে কম্পন একই তলে আবদ্ধ থাকে। রেখাধ্রুবিত তরঙ্গ অন্য ছিদ্র পার হইয়া যাইতে পারিবে কি পারিবে না, তাহা দুই ছিদ্রের মধ্যবর্তী কোণের উপর নির্ভর করে। ছিদ্র দুটি সমকোণে হইলে তরঙ্গ দ্বিতীয়টি পার হইয়া যাইতে পারে না।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে এরূপ কিছুই ঘটে না।

আলোর ধ্রুবণ। সুতার তরঙ্গের ক্ষেত্রে রেখাছিদ্র যে ক্রিয়া করে আলোর ক্ষেত্রে অনেক কেলাস (crystal) সে জাতীয় ক্রিয়া করিতে পারে। টুর্মালিন (Tourmaline) এরূপ একটি কেলাস। টুর্মালিনের পাতের মধ্য দিয়া আলোককিরণ যাইতে দিলে আপতিত ও পারগত কিরণে এক তীব্রতা ছাড়া আর কোন প্রভেদ বোঝা যায় না। কিন্তু অনুরূপ দ্বিতীয় একখানা টুর্মালিন পাতকে প্রথমের সমান্তরালে রাখিয়া পাতের নিজতলে ঘুরাইতে থাকিলে দেখা যাইবে দ্বিতীয় পাত পার হওয়া কিরণের তীব্রতা ক্রমশ কমিয়া শূন্যে পরিণত হইয়াছে। এই সময়ে দ্বিতীয় পাতের অক্ষ প্রথমের সমকোণে থাকে। দুই পাতের অক্ষ সমান্তরাল থাকিলে আলো উভয় পাত পার হইয়া যায়। অক্ষ সমকোণে থাকিলে আলো যাইতে পারে না। দুই টুর্মালিন পাতের মধ্যের অংশে আলো রেখাধ্রুবিত, অর্থাৎ আলোক তরঙ্গের (E-র অথবা H-এর) কম্পন একই তলে আবদ্ধ।

10-4. আলোর রশ্মি ও বিবর্তন (Light rays and diffraction of light)। 2-4 বিভাগে আমরা তরঙ্গের যে সকল সাধারণ ধর্মের উল্লেখ করিয়াছি, তাহাদের সম্বন্ধে একটি বিষয় লক্ষণীয়। আলোর ক্ষেত্রে আলোককিরণ কথাটির সঙ্গে আমরা পরিচিত। যে কোন প্রকার তরঙ্গের সম্বন্ধে তরঙ্গকিরণ কথাটি আমরা প্রয়োগ করিতে পারি। উহা দ্বারা তরঙ্গের 'পরিসর' অর্থাৎ তরঙ্গগতির অভিলম্বে তরঙ্গের প্রসার বা প্রস্থচ্ছেদ বুঝায়।

চিত্র 10·3

তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় তরঙ্গের পরিসর যদি অনেক বড় হয়, তাহা হইলে তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ঘটে। এক্ষেত্রে তরঙ্গের আচরণ রশ্মি (Ray)-র কল্পন দিয়া বর্ণনা করা যায়। কিন্তু তরঙ্গ-কিরণের পরিসর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় যত

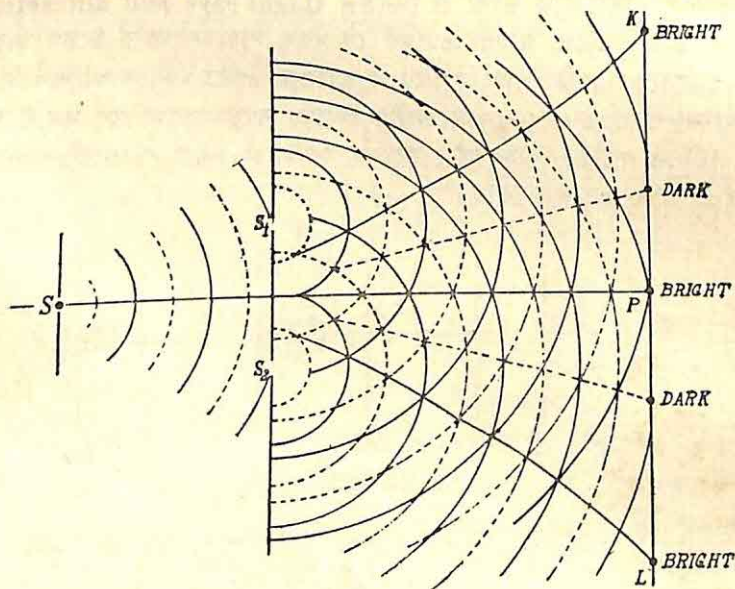
কমিয়া আসে তরঙ্গের আচরণে তত নূতনত্ব আসে। ব্যতিচার, বিবর্তন, বিক্ষেপণ এই কারণে ঘটা নূতন আচরণ।

রশ্মির কল্পন পরীক্ষায় যাচাই করিতে গেলে আমরা এক নূতন পরিস্থিতির সম্মুখীন হই। 10·3 চিত্রে S বিন্দু দীপক (Point source) অর্থাৎ অতিক্ষুদ্র পরিসরের একটি দীপক। A অনচ্ছ পর্দা; উহাতে ইচ্ছামত ছোট বা বড় করা যায়, এমন ছিদ্র (diaphragm) আছে। B গ্রাহক পর্দা। S হইতে আলো A-র ছিদ্র দিয়া B পর্দায় পড়ে।

A-র ছিদ্র আকারে বড় হইলে B-তে আলোকিত অঞ্চলের সীমানা S হইতে A-র ছিদ্রের সীমারেখার বিন্দুগুলির মধ্য দিয়া টানা সরলরেখাগুলি দিয়া সীমাবদ্ধ অঞ্চলের মধ্যেই কার্যত আবদ্ধ থাকিবে (10·3 (*a*) চিত্র)। এই কারণেই আমরা প্রথমে বলি সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলো সরলরেখায় চলে এবং আলোর গতিপথই 'রশ্মি'। (*a*) চিত্রে যে রশ্মিগুলি A পর্দায় আটকাইয়া গিয়াছে তাহারা B-তে পৌঁছিতে পারে নাই।

কিন্তু A-র ছিদ্রের আকার ক্রমশ ছোট করিয়া আনিলে দেখা যাইবে B পর্দায় আলো ওরূপ সীমানার বাহিরেও যাইতেছে (10·3 (*b*) চিত্র)। ছিদ্র খুব ছোট হইলে B পর্দায় আলো অনেকখানি জায়গায় ছড়াইয়া পড়ে (10·3 (*c*) চিত্র)। এক্ষেত্রে রশ্মি সরলরেখায় চলে এ কথা আর বলা যায় না। আলোকরশ্মির বাঁকিয়া যাওয়া রূপ এই ঘটনাকে আলোকতরঙ্গের 'বিবর্তন' (diffraction) বলে।

10-4.1. জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের যাথার্থ্য (Validity of geometrical optics)। আলোকরশ্মি যদি সরল রেখায় না চলে বা রশ্মির মত ধর্ম-

চিত্র 10·4

বিশিষ্ট কোন বৈচিত্র্য তরঙ্গে না-ই থাকে, তবে আলোকরশ্মিকে ভিত্তি করিয়া যে জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান সৃষ্ট হইল তাহার যাথার্থ্য কি? জ্যামিতিক আলোক-বিজ্ঞানে আলোচিত আলোককিরণের পরিসর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক বড় বলিয়া স্থূলভাবে বলা যায় আলো সরল রেখায়ই চলে (10·3(a) চিত্রের অবস্থা তুলনা কর)। (আলোর গড় তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5{\cdot}5 \times 10^{-5}$ cm মনে করিতে পার।) কিন্তু জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানেই ছায়ার সীমানার কাছে বা ফোকাস বিন্দুর কাছে স্বল্প পরিমিত অঞ্চল সূক্ষ্মভাবে দেখা দরকার হইলে সেখানে আলোর ঋজুগতি হইতে ব্যতিক্রম পাওয়া যাইবে। অতএব জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান স্থূল চিত্রণ (approximation)।

10-5. আলোর ব্যতিচার (Interference of light)। দুই আলোক তরঙ্গের উপরিপাতে আলোর ব্যতিচার হইতে পারে তাহা প্রথম দেখান ইংরেজ ডাক্তার টমাস ইয়ং (1773-1829)। তাঁহার ব্যবস্থা 10·4 চিত্রে দেখান হইয়াছে। বিন্দুদীপক S হইতে গোলীয় আলোকতরঙ্গ আসিয়া একটি অনচ্ছ পর্দায় দুটি কাছাকাছি ছোট ছিদ্র S_1, S_2-কে আলোকিত করে। S_1, S_2 খুব ছোট বলিয়া উহা পার হইয়া যে তরঙ্গ যায় তাহা বিবর্তনের জন্য কার্যত গোলীয় তরঙ্গের আকারে ছড়াইয়া পড়ে, এবং উহাদের উপরিপাতিত অঞ্চলে কতকগুলি রেখা বরাবর কম্পনের বিস্তার চরম ও অবম হয়। এই রেখাগুলি একান্তরী (alternate) অবস্থায় থাকে। গ্রাহী পর্দায় (KL) এই আলো পড়িতে দিলে আলো সুষম না থাকিয়া একান্তরী উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখায় সজ্জিত হয়। এই সজ্জা আলোর ব্যতিচারজনিত সজ্জা (Interference fringes)। S_1, S_2 উৎস হইতে আগত তরঙ্গগুলির কোন কোন স্থানে সর্বদা সমদশায় বা সর্বদা বিপরীত দশায় উপরিপাতকে ব্যতিচার (Interference) বলে। ব্যতিচার দেখাইবার অন্য নানারকম ব্যবস্থা হইতে পারে।

ব্যতিচারের ব্যাখ্যা। স্বল্প পরিসর এবং কাছাকাছি দুই আলোক তরঙ্গমালা প্রায় একই দিকে চলিতে গিয়া বিবর্তনের জন্য ছড়াইয়া পড়ে এবং কিছু অঞ্চলে উপরিপাতিত হয় (10·4 চিত্র)। উভয় তরঙ্গ একই কম্পাংকের হইলে এবং গোড়ায় সমদশায় কম্পিত হইতে থাকিলে (উভয়ে একই একবর্ণী দীপক হইতে আসিলে এরূপ হয়) উপরিপাতিত অঞ্চলে কতকগুলি রেখা বরাবর দুই তরঙ্গমালা সব সময়ই সমদশায়, এবং অন্য কতকগুলি রেখায় বিপরীত দশায় উপরিপাতিত হইতে থাকিবে। 10·4 চিত্রে অবিচ্ছিন্ন অর্ধবৃত্ত রেখাগুলি সমদশাতল এবং বিচ্ছিন্ন অর্ধবৃত্ত রেখাগুলি বিপরীত দশাতল বুঝায়। যে রেখায় উভয় তরঙ্গমালার সমদশাতলগুলি ছেদ করে সেখানে আলোক-তরঙ্গের কম্পনের বিস্তার কার্যত দ্বিগুণ হওয়ায় আলোর তীব্রতা চতুর্গুণ হয়। যে রেখায় বিপরীত দশাতলগুলি ছেদ করে সেখানে কম্পনের বিস্তার কার্যত শূন্য হওয়ায় সেখানে আলো থাকে না।

শব্দতরঙ্গের ব্যতিচারের কথা আমরা 5-5 বিভাগে উল্লেখ করিয়াছি।

অনুশীলনী

1. আলোক একপ্রকার তরঙ্গ ইহা মনে করিবার কি কি কারণ দেখাইতে পার? আলোকতরঙ্গের বেগের স্থূলমান ও যথা সম্ভব সূক্ষ্ম মান বল।
2. আলোকতরঙ্গ কি মাধ্যমে কিসের কম্পন? এরূপ মনে করিবার কি কারণ বলিতে পার?
3. তরঙ্গের ব্যতিচার (Interference) বলিতে কি বুঝায়? আলোকতরঙ্গের ব্যতিচারে কি রকম ঘটনা দেখা যায়? ব্যতিচারের ব্যবস্থা কি হইতে পারে তাহার আভাস দাও।
4. তরঙ্গের ধ্রুবণ (Polarization) বলিতে কি বুঝায়? ধ্রুবণের সাহায্যে তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য কি অনুপ্রস্থ তাহা কি ভাবে বোঝা যায়?
5. আলোক যদি তরঙ্গই হয়, তাহা হইলে রশ্মির কল্পনের সাহায্যে জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের ফলগুলিকে কি অর্থে শুদ্ধ মনে করা যায়? যথাসম্ভব কারণ দেখাইয়া উত্তর দাও।

পদার্থের ধর্ম

১ মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ (Gravitation and Gravity)

1-1. সূচনা (Introduction)। পদার্থের নানা রকম ধর্ম আছে। তাহাদের মধ্যে জাড্য (Inertia) ও মহাকর্ষ (Gravitation) পদার্থের অবস্থা নিরপেক্ষ, অর্থাৎ পদার্থ কঠিন, তরল কি গ্যাসীয় তাহার উপর নির্ভর করে না। জাড্য ধর্ম সম্বন্ধে গোড়ার কথাগুলি নিউটনের গতীয় সূত্র (বিশেষ করিয়া প্রথম সূত্র) আলোচনা কালে বলা হয়। মহাকর্ষের কথা এই পরিচ্ছেদে বলা হইবে।

ইহা ছাড়া, কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন রকম ধর্ম আছে। ইহাদের মধ্যে প্রধানত কঠিন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা, সাম্যে অবস্থিত তরল ও গ্যাসের প্রধান প্রধান ধর্ম, তরলের পৃষ্ঠটান (Surface tension) এবং সান্দ্রতা (Viscosity) আমরা 'পদার্থের ধর্ম' অংশে কিছুকিছু আলোচনা করিব।

1-2. মহাকর্ষ (Gravitation)। মহাকর্ষ পদার্থ মাত্রেরই সাধারণ ধর্ম; মহাবিশ্বের সর্বত্র সকল রকম পদার্থেরই এই ধর্ম আছে। মহাকর্ষ সংক্রান্ত সূত্র নিউটন আবিষ্কার করেন। **নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্রে** বলে "মহাবিশ্বে প্রত্যেকটি পদার্থকণা অন্য পদার্থকণাকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে, এবং এই আকর্ষণের মান কণাদুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক ও উহাদের দূরত্বের বর্গের বিষমানুপাতিক"। আকর্ষক বল F, কণাদুটির ভর m ও m' এবং উহাদের দূরত্ব r হইলে সূত্র অনুসারে

$$F \propto \frac{mm'}{r^2} \text{ বা } F = G\frac{mm'}{r^2} \qquad (1\text{-}2.1)$$

G একটি নিত্যসংখ্যা; ইহাকে **মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা (Gravitational constant)** বলে। নিত্যসংখ্যা বলিতে বুঝায় সকল অবস্থাতেই ইহার মান স্থির। সিজিএস্ এককে ইহার মান $6{\cdot}67 \times 10^{-8}$। ইহার অর্থ একগ্রাম করিয়া ভরের দুইটি কণা 1 cm দূরত্বে থাকিলে উহারা একটি আর একটিকে মহাকর্ষের জন্য $6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ dyne বলে আকর্ষণ করিবে। লক্ষ্য কর, এই ফল পাইতে 1-2.1 সমীকরণে আমরা $m = m' = 1\text{g}$ এবং $r = 1\text{cm}$ নিয়াছি। সহজেই বুঝিতে পার মহাকর্ষীয় টান কত ক্ষীণ। (এক dyne বল প্রায় একটি মশার ওজনের সমান।)

1-3. বিস্তৃত আকারের দুইটি বস্তুর মধ্যে মহাকর্ষীয় টান (Gravitational attraction for extended bodies)। নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্রে দুইটি কণার মধ্যে মহাকর্ষীয় টানের কথা বলা হইয়াছে। কণা বলিতে আমরা অতিক্ষুদ্র আয়তনের পদার্থখণ্ড বুঝি; উহা এত ক্ষুদ্র যে জ্যামিতিক বিন্দু দিয়া উহার অবস্থান

বুঝান যায়। তা ছাড়াও, পারস্পরিক দূরত্বের তুলনায় আকৃষ্ট বস্তু দুইটির পরিসর (দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ) কম হইলেও উহাদের কণা বলিয়া ধরা যায়। 100 মিটার দূরত্বে এক সেন্টিমিটারের মত পরিসরের দুটি বস্তু থাকিলে উহাদের পারস্পরিক টান হিসাব করিতে উভয়কেই একটি কণা মনে করায় হিসাবে বিশেষ ত্রুটি হয় না। কিন্তু উহারা যদি মাত্র 5 cm দূরত্বে থাকে তবে এরূপ হিসাব করা অনুচিত। পরিসরের সঙ্গে দূরত্ব তুলনীয় হইলে হিসাবে প্রচুর জটিলতা আসে, কারণ একটির যে কোন কণা হইতে অন্য বস্তুটির কণাগুলির দূরত্ব অসমান, টানের দিক্‌ও বিভিন্ন। সবগুলি কণা লইয়া এ জাতীয় হিসাব কার্যত প্রায় অসম্ভব।

দুই গোলকের আকর্ষণ। কিন্তু এক বিশেষ ক্ষেত্রে এই জটিলতা থাকে না। আকৃষ্ট বস্তু দুইটি আকারে গোলক (sphere)* হইলে, উহাদের ভিতরে দূরত্ব যাহাই হউক না কেন, আকর্ষণ হিসাব করা খুব সোজা। গোলকের ক্ষেত্রে মনে করা যায় উহাদের প্রত্যেকের ভর যেন নিজ নিজ কেন্দ্রে সংহত (concentrated) হইয়া আছে, এবং দুই গোলকের আকর্ষণ উহাদের নিজ নিজ কেন্দ্রে রাখা নিজ নিজ ভরের সমান ভরের দুই কণার মধ্যে আকর্ষণ। গোলক দুইটি আকারে যদি বেশ বড়ও হয়, এবং উহারা গায়ে গায়ে ঠেকিয়া থাকে, তাহা হইলেও এ হিসাব শুদ্ধ।

ধর a_1 ও a_2 ব্যাসার্ধের দুইটি গোলক আছে। একটির পদার্থের ঘনত্ব ρ_1 এবং অন্যটির ρ_2। তাহা হইলে উহাদের একটির ভর $\frac{4}{3}\pi\rho_1 a_1{}^3 = M_1$ এবং অন্যটির ভর $\frac{4}{3}\pi\rho_2 a_2{}^3 = M_2$। a_1, a_2 যত বড়ই হউক না কেন উহাদের মধ্যে অবম দূরত্ব $a_1 + a_2$। এই দূরত্বে বা ইহার চেয়ে বেশী কোন দূরত্বে, ধর r দূরত্বে, গোলক দুইটি থাকিলে উহাদের মধ্যে মহাকর্ষীয় টান হইবে $F = GM_1M_2/r^2$।

সূর্য, গ্রহ ও উপগ্রহের মধ্যে মহাকর্ষীয় টান হিসাব করিতে আমরা উহাদের সমসত্ত্ব গোলক বলিয়া কল্পনা করিব। প্রত্যেকের ভর নিজ নিজ কেন্দ্রে সংহত বলিয়া ধরা হইবে।

আকৃষ্ট বস্তু দুইটির মধ্যে দূরত্ব উহাদের পরিসরের তুলনায় বড় হইলেও উহাদের আকর্ষণ দুই কণার আকর্ষণ বলিয়া ধরা হইবে। প্রত্যেক বস্তুর ভর বস্তুটির ভরকেন্দ্রে অবস্থিত বলিয়া মনে করা যায়।

কোন গোলকের পিঠে বা আরও দূরে গোলকের ব্যাসার্ধের তুলনায় উপেক্ষণীয় পরিসরের কোন বস্তু থাকিলে গোলককে উহার কেন্দ্রে অবস্থিত সমভর কণা, এবং অন্য বস্তুটিকে তাহার নিজ ভরকেন্দ্রে অবস্থিত কণা বলিয়া ধরা চলিবে।

1-4. মহাকর্ষীয় সূত্রের ব্যতিক্রমহীনতা (Universality of the law of gravitation)। মহাকর্ষীয় সূত্র যে সকল অবস্থায়ই খাটিবে এ বিষয়ে নিউটন

---

* সঠিক বলিতে গেলে গোলক সমসত্ত্ব (homogeneous) হওয়া দরকার। অন্যথায় উহারা সমকেন্দ্রিক বিভিন্ন ঘনত্বের সমসত্ত্ব গোলীয় স্তরে (spherical shell বা খোলকে) তৈয়ারী হইতেও পারে।

নিশ্চিত হন। চাঁদ পৃথিবীর চারদিকে প্রায় বৃত্তাকার কক্ষে ঘোরে। নিউটন হিসাব করিয়া দেখেন চাঁদকে বৃত্তপথে ঘুরাইতে যে অভিকেন্দ্র বল লাগে তাহা চাঁদের উপর পৃথিবীর মহাকর্ষীয় টানের সমান। বিভিন্ন গ্রহ সূর্যের মহাকর্ষীয় টানে সূর্যের চারদিকে ঘোরে, জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা এ বিষয়ে নিশ্চিত হন। লেভারিয়ে (Leverrier) ও অ্যাডাম্‌স্ (Adams) মহাকর্ষীয় সূত্রের ভিত্তিতে নেপচুন (Neptune) গ্রহটি আবিষ্কার ও উহার অবস্থান নির্ণয় করেন।

পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে আকৃষ্ট কণা (বা বস্তু) দুইটির মাঝখানে অন্য পদার্থ থাকিলেও উহাদের মহাকর্ষীয় টানের কোন পরিবর্তন হয় না। আকৃষ্ট বস্তুর রাসায়নিক গঠন, উহারা কঠিন, তরল কি বায়বীয়, উহাদের উষ্ণতা কত, ইত্যাদি কোন বিষয়ই আকর্ষণকে প্রভাবিত করিতে পারে না। আকর্ষণ কেবল ভর ও উহাদের দূরত্বের উপর নির্ভর করে। এই কারণে সূত্রটিকে আমরা সর্বকালীন ও সর্বস্থানীয় (universal) মনে করি।

1-2.1 সমীকরণের m, m' ভরকে **মহাকর্ষীয় ভর (gravitational mass)** বলে। ইহার সহিত জড়ত্বীয় ভরের সমতা আমরা 'বলবিজ্ঞান' অংশের 1-7.4 বিভাগে আলোচনা করিয়াছি।

1-5. অভিকর্ষ (Gravity)। মহাকর্ষীয় সূত্র অনুসারে পৃথিবী ভূপৃষ্ঠের সকল বস্তুকেই* বস্তুটির ভর m-এর আনুপাতিক বলে আকর্ষণ করিবে। পৃথিবীকে M ভর ও R ব্যাসার্ধের সমসত্ত্ব গোলক বলিয়া কল্পনা করিলে ভূপৃষ্ঠে m-ভরের বস্তুর উপর উহার আকর্ষণ W হইবে

$$W = G\,Mm/R^2 \qquad (1\text{-}5.1)$$

ভূপৃষ্ঠে বা উহার কাছাকাছি কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণকে **অভিকর্ষ (Gravity)** বা 'অভিকর্ষীয় বল' (Force of gravity) বলা হয়। ইহাই বস্তুটির ওজন। বলের অভিমুখ ভূকেন্দ্রের দিকে। অভিকর্ষীয় বলের ক্রিয়ায় কোন বস্তু ভূকেন্দ্রের দিকে যে ত্বরণে পড়ে তাহাকে **অভিকর্ষীয় বা অভিকর্ষজ ত্বরণ (Acceleration due to gravity)** বলা হয়। g অক্ষর দিয়া এই ত্বরণ বুঝান হয়। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে বস্তুটির ওজন $W = mg$।

$$\therefore\quad mg = GMm/R^2 \text{ বা } g = GM/R^2 \qquad (1\text{-}5.2)$$

আকৃষ্ট বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ (অভিকর্ষ) বস্তুটির ভারকেন্দ্রে (centre of gravity-তে) ক্রিয়া করে।

[যথার্থ বলিতে গেলে অভিকর্ষ (Gravity) কথাটি পৃথিবীর আকর্ষণ রূপ ঘটনাকে বুঝায়। কিন্তু আকর্ষক বল বুঝাইতেও কথাটি ব্যবহৃত হইতেছে।]

---

* আকৃষ্ট বস্তু গোলক না হইলে উহার পরিসর পৃথিবীর ব্যাসার্ধের তুলনায় উপেক্ষণীয় হওয়া দরকার। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ প্রায় $6{\cdot}4 \times 10^8$ cm (6400 km) বা 4000 মাইল।

1-5.1. অভিকর্ষের অধীনে গতি (Motion under gravity)। 1-5.2 সমীকরণ হইতে দেখা যায় ভূপৃষ্ঠের কাছে অভিকর্ষীয় ত্বরণ g-র মান স্থির, কারণ সমীকরণের ডান দিকের রাশিগুলি স্থিরমান (G নিত্যসংখ্যা, M পৃথিবীর ভর ও R পৃথিবীর ব্যাসার্ধ)। R-এর মান প্রায় $6{\cdot}4 \times 10^6$ মিটার বলিয়া ভূ-পৃষ্ঠের কাছে ভূকেন্দ্র হইতে আকৃষ্ট বস্তুর দূরত্বে দু'একশ' মিটার হেরফের হইলেও সাধারণ কাজে g-র পরিবর্তন ধরা পরিবে না।

ষোড়শ শতাব্দীতেও লোকের ধারণা ছিল ভারী বস্তু হালকা বস্তুর চেয়ে তাড়াতাড়ি নিচে পড়ে, অর্থাৎ ভারী বস্তুর ক্ষেত্রে g-র মান বড়।

ইটালীর পিসা (Pisa) সহরের হেলান মিনার (Leaning tower)-এর উপর হইতে ছোট ও বড় বস্তু একসঙ্গে ফেলিয়া গ্যালিলিও (1564-1642) প্রথম দেখান যে উহারা একসঙ্গেই মাটিতে পড়ে। পরে নিউটন তাঁহার প্রসিদ্ধ গিনি-ও-পালকের পরীক্ষায় (Guinea-and-feather experiment) দেখান যে **বায়ুর বাধা না থাকিলে ভারী ও হালকা সকল বস্তুই অভিকর্ষের ক্রিয়ায় একসঙ্গে পড়ে।** এই পরীক্ষায় একখানা গিনি (স্বর্ণমুদ্রা) ও একটুকরা পালক লম্বা একটি মোটা নলের ভিতরে থাকে। নলের একমুখ বন্ধ ; অন্য মুখে নির্বাত পাম্পে (vacuum pump-এ) যোগ করার জন্য একটি স্টপকক (stop cock) থাকে। নলে বায়ু থাকিলে দেখা যায় নল হঠাৎ খাড়া করিলে গিনিখানা আগে নলের নিচে পড়ে ; পালক পড়ে আস্তে আস্তে। পাম্পের সাহায্যে নল হইতে বায়ু বাহির করিয়া নিলে দেখা যায় গিনি ও পালক একসঙ্গে নিচে পড়ে। ইহাতে বোঝা যায় বায়ুর বাধা না থাকিলে (বা উপেক্ষণীয় হইলে) হালকা ও ভারী বস্তু পৃথিবীর টানে একভাবেই চলে।

1-6. পড়ন্ত বস্তুর গতির সূত্র (Laws of falling bodies)। নততলে (Inclined plane ; ঢালু সমতল) চলন্ত বস্তুর গতি লক্ষ্য করিয়া গ্যালিলিও বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর গতি সম্বন্ধে তিনটি সিদ্ধান্তে আসেন। ইহাদের 'বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর গতির সূত্র' (Laws of freely falling bodies) বলে। সূত্র তিনটি নিচে বলা হইল :

অভিকর্ষের ক্রিয়ায় **বিনা বাধায় স্থির অবস্থা হইতে** কোন বস্তু পড়িতে থাকিলে

(১) সকল বস্তুই সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম করে ;

(২) বস্তুর বেগ অতিক্রান্ত সময়ের (গতিকালের) সমানুপাতিক, ও

(৩) নির্দিষ্ট সময়ে অতিক্রান্ত পথ গতিকালের বর্গের সমানুপাতিক।

(কোন বস্তু যখন পড়ে তখন বায়ুর সান্দ্রতা (viscosity) উহার পতনে বাধা দেয়। ভারী বস্তুর ক্ষেত্রে এই বাধা বস্তুর ওজনের তুলনায় উপেক্ষণীয়। কিন্তু কাগজ, পাতা, তুলা প্রভৃতি হালকা বস্তুর ক্ষেত্রে বাধা ওজনের তুলনায় উপেক্ষণীয় নয়।)

গ্যালিলিওর সূত্রগুলি হইতে সিদ্ধান্ত করা যায় যে **অভিকর্ষের ক্রিয়ায় বিনা**

বাধায় পড়ন্ত সকল বস্তু একই সুষম ত্বরণে চলে। কারণ, স্থির অবস্থা হইতে গতি আরম্ভের t অবসর পরে বেগ v হইলে, উপরের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে $v \propto t$। অতএব v/t = স্থির রাশি। v/t সময়ের সহিত বেগ পরিবর্তনের হার। সংজ্ঞা অনুসারে ইহাই ত্বরণ। সুতরাং দ্বিতীয় সূত্র হইতে পাওয়া গেল বিনা বাধায় পড়ন্ত কোন বস্তুর ত্বরণ সুষম। এখন দেখাইতে হইবে যে সকল পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে এই ত্বরণ সমান।

আলোচ্য বস্তুটি স্থির অবস্থা হইতে চলিতেছে বলিয়া উহার আদিবেগ $u = 0$। $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণে ('বলবিজ্ঞান' অংশের 1-2.2 সমীকরণ) এই মান বসাইলে পাই $s = \frac{1}{2}ft^2$। ইহা গ্যালিলিওর তৃতীয় সূত্র।

গ্যালিলিওর প্রথম সূত্র হইতে দেখা যায় t-র নির্দিষ্ট মানে সকল বস্তুর ক্ষেত্রেই s সমান। ইহার অর্থ সকল বস্তুর f অর্থাৎ ত্বরণও সমান।

1-7. অভিকর্ষীয় (বা অভিকর্ষজ) ত্বরণ (Acceleration due to gravity)। বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর সূত্রগুলি হইতে আমরা দেখিতে পাইলাম অভিকর্ষজনিত ত্বরণ সকল বস্তুরই সমান। এই ত্বরণকে আমরা অভিকর্ষীয় (বা অভিকর্ষজ) ত্বরণ (acceleration due to gravity) বলিয়াছি। সাধারণত g অক্ষরটি দিয়া এই ত্বরণ নির্দেশ করা হয়। (এই g-র সঙ্গে গ্রাম (gram)-এর সংকেত g-র ভুল করিও না। দুই অক্ষরে প্রভেদ রাখার জন্য ত্বরণকে আমরা বাঁকা হরফে (italics-এ) ছাপিব। গ্রামের g খাড়া অক্ষর* থাকিবে। তা ছাড়া, আলোচনার প্রকৃতি হইতেই সাধারণত বোঝা যাইবে ত্বরণের কথা বলা হইতেছে কি গ্রামের।)

পৃথিবী আকারে ঠিক গোলক নয়; তা ছাড়া, গঠনে উহা সমসত্ত্ব (homogeneous) নয়। এই দুই কারণে, এবং পৃথিবীর নিজ অক্ষে আবর্তনের জন্যও, পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে g-র মানে একটু প্রভেদ হয়। নিচের সারণিতে কয়েকটি জায়গায় g-র মান দেওয়া হইল।

স্থান	g(cm/s^2 এককে)	স্থান	g(cm/s^2 এককে)
কলিকাতা	978·82	বিষুব রেখা	978·03
বোম্বাই	978·63	উত্তর মেরু	983·22
মাদ্রাজ	978·28	লণ্ডন	981·19

কোন আলোচনায় বা প্রশ্নে g-র মান স্পষ্ট বলা না থাকিলে আমরা উহাকে সিজিএস্ এককে 980 cm/s^2 (এম্‌কেএস্ এককে 9·8 m/s^2 এবং এফপিএস্ এককে 32 ft/s^2) বলিয়া ধরিতে পারি।

---

* সিজিএস্ পদ্ধতির ভরের একক 'গ্রাম' (gram)-এর বর্তমান আন্তর্জাতিক চিহ্ন g। আগে উহাকে gm লেখা হইত। আমরা সর্বত্র যথাসম্ভব আন্তর্জাতিক প্রথা অনুসরণ করিব।

1-8. অভিকর্ষের ক্রিয়ায় খাড়া রেখায় গতি (Vertical motion under gravity)। এ আলোচনায় কণা বা বস্তু যে বিন্দু হইতে গতি আরম্ভ করিবে, সেই বিন্দুকে আমরা মূলবিন্দু (origin) ধরিব। অতিক্রান্ত পথ h-কে পতনের সময় নিচের দিকে পজিটিভ এবং উত্থানের সময় উপর দিকে পজিটিভ ধরা হইবে। ইহাতে পতনের সময় h ও g উভয়েই নিচের দিকে পজিটিভ হয়। কিন্তু উত্থানের সময় g-র অভিমুখ নিচের দিকে বলিয়া h পজিটিভ ও g নিগেটিভ হয়।

উভয় ক্ষেত্রেই গতি খাড়া বা উল্লম্ব (vertical) রেখায়, এবং গতিতে ত্বরণ (g) সুষম। সুষম ত্বরণে গতির সমীকরণগুলিতে ('বলবিজ্ঞান' অংশের 1-2.1 হইতে 1-2.4 সমীকরণ) s-এর বদলে h এবং f-এর বদলে পতনের ক্ষেত্রে g এবং উত্থানের ক্ষেত্রে $-g$ লিখিলে, আমরা অভিকর্ষের ক্রিয়ায় খাড়া রেখায় গতির সমীকরণগুলি পাইব। গতি বিনা বাধার গতি। **পড়ন্ত বস্তুর** গতির সমীকরণগুলি হইবে

$$v = u + gt \tag{1-8.1a}$$

$$h = ut + \tfrac{1}{2}gt^2 \tag{1-8.1b}$$

$$v^2 - u^2 = 2gh \tag{1-8.1c}$$

$$h_n - h_{n-1} = \tfrac{1}{2}g(2n-1) \tag{1-8.1d}$$

উপরে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতির সমীকরণ হইবে

$$v = u - gt \tag{1-8.2a}$$

$$h = ut - \tfrac{1}{2}gt^2 \tag{1-8.2b}$$

$$v^2 - u^2 = -2gh \text{ বা } v^2 = u^2 - 2gh \tag{1-8.2c}$$

$$h_n - h_{n-1} = -\tfrac{1}{2}g(2n-1) \tag{1-8.2d}$$

স্থির অবস্থা হইতে পড়িলে 1-8.1 সমীকরণগুলিতে $u=0$ হইবে।

1-8.1. উৎক্ষিপ্ত বস্তু কতদূর ওঠে (Maximum height of ascent)। u বেগে কোন বস্তুকে খাড়া উপরের দিকে ছুড়িয়া দিলে উহা কতখানি উঁচুতে উঠিতে পারিবে তাহা 1-8.2c সমীকরণের সাহায্যে পাওয়া যায়। ঊর্ধ্বতম বিন্দুতে বস্তুটির সাময়িক বেগ $v=0$। অতএব চরম উচ্চতাকে H বলিলে

$$u^2 - 2gH = 0 \text{ বা } H = u^2/2g. \tag{1-8.3}$$

1-8.2. ঊর্ধ্বতম বিন্দুতে উঠিতে কত সময় লাগে। $v=0$ হওয়ায় 1-8.2a সমীকরণ হইতে দেখা যায়, নির্ণেয় সময় T হইলে

$$0 = u - gT \text{ বা } T = u/g \tag{1-8.4}$$

সহজেই দেখা যায় উপরে উঠিতে যতটা সময় (T) লাগে, ঊর্ধ্বতম বিন্দু হইতে নিচে পড়িতেও সেই একই সময় লাগে। পড়িবার সময় গতি স্থির অবস্থা হইতে শুরু।

এক্ষেত্রে $u=0$, এবং 1-8.1b সমীকরণ প্রযোজ্য ; তা ছাড়া $h=H$ হইতে হইবে। অতএব

$$H=\frac{1}{2}gt^2 \text{ বা } t^2=2H/g=2u^2/2g^2 \quad (\text{1-8.3 সমীকরণ হইতে})$$

$\therefore\ t^2=u^2/g^2$ বা $t=u/g$। অতএব **পতনকাল উত্থানকাল T-র সমান।**

উৎক্ষিপ্ত বস্তু তাহার গতিপথের কোন বিন্দুতে একবার উঠিবার সময় এবং আর একবার নামিবার সময় পৌঁছায়। এই দুই সময়ের মান সহজেই পাওয়া যায়। বিন্দুটি উৎক্ষেপ বিন্দু হইতে h উচ্চতায় হইলে ($h < H$),

$$h=ut-\frac{1}{2}gt^2 \quad \text{বা} \quad gt^2-2ut+2h=0\text{।}$$

t-র এই দ্বিঘাত সমীকরণের সমাধান

$$t=\frac{u\pm\sqrt{u^2-2gh}}{g} \qquad (1\text{-}8.5)$$

উত্থান পথের কোন বিন্দুতে উঠিবার বা নামিবার সময় বস্তুটির বেগের মান একই থাকে, কিন্তু দুক্ষেত্রে বেগের অভিমুখ বিপরীত। বেগের মান $v^2=u^2-2gh$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়। ইহা হইতে পাই $v=\pm\sqrt{u^2-2gh}$। h উচ্চতায় v-র এই দুই মান হইতে পারে। + চিহ্নে উঠিবার সময়ের বেগ বুঝায় ; − চিহ্নে নামিবার।

প্রশ্ন। (১) 100 m উপর হইতে পড়িতে একখণ্ড পাথরের কত সময় লাগিবে? মাটি ছুঁইবার সময় উহার বেগ কত? ($g=9{\cdot}8$ m/s^2)

[সমাধান—পাথরের আদিবেগের কোন উল্লেখ না থাকায় $u=0$ ধরা হইবে। এখানে $h=100$ m ; $t=$ কত? $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণ প্রয়োগ কর।]

(২) 49 m/s বেগে একটি বস্তু উপরে ছোড়া হইল। উহা কতদূর উঠিবে? 78·4 m উঠিতে উহা কত সময় নিবে? তখন বেগ কত? ($g=980$ cm/s^2)

[সমাধান—ঊর্ধ্বতম বিন্দুর দূরত্ব $H=u^2/2g=(4900)^2/(2\times980)=12250$ cm। 78·4 m উঠিতে যে সময় লাগিবে তাহা $78{\cdot}4=49t-\frac{1}{2}\times9{\cdot}8\times t^2$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে। $t=2$ s বা 8 s। উঠিবার সময় $t=2$ s ; পড়িবার সময় $t=8$ s। উভয় সময়ই উৎক্ষেপ মুহূর্ত হইতে গণা।

$t=2$ s এবং 8 s ধরিয়া $v=u-gt$ সমীকরণ প্রয়োগে v পাওয়া যাইবে। অথবা $v=\pm\sqrt{u^2-2gh}$ সমীকরণ প্রয়োগ করিতে পার। $v=\pm29{\cdot}4$ m/s।]

1-9. অভিকর্ষীয় ত্বরণ g-র পরিবর্তন (Variation of g)। $g=GM/R^2$ (1-5.2 সমীকরণ) হইতে দেখা যায় R বাড়িলে g কমিবে, এবং R কমিলে g বাড়িবে। পৃথিবী ঠিক গোল নয় ; উত্তর-দক্ষিণে একটু চাপা। কাজেই (ক) ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন জায়গায়, (খ) ভূপৃষ্ঠের উপরে ও (গ) ভূনিম্নে g সমান হইবে না। R-এর ব্যতিক্রম ছাড়া ছোট বড় অন্যান্য কারণেও g-র পরিবর্তন হয়। ছোট কারণগুলি ছাড়িয়া বড়গুলি আমরা সংক্ষেপে আলোচনা করিব।

(ক) ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন অক্ষাংশে। নিরক্ষরেখায় (equator-এ) পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6378 km ও মেরুতে 6357 km। দূরত্বের প্রভেদের জন্য দুই স্থানে g-র প্রভেদ হইবে। নিরক্ষরেখায় $g = 978{\cdot}0$ cm/s^2 এবং মেরুতে 983·2 cm/s^2। কেবল ভূকেন্দ্র হইতে দূরত্বের জন্য g-র মানে এতটা প্রভেদ হয়, তাহা নয়। অন্য একটি বড় কারণ আছে; উহা হইল পৃথিবীর নিজ অক্ষে আবর্তন। এই আবর্তনের জন্য ভূপৃষ্ঠের সকল বস্তুই আবর্তিত হইতেছে। আবর্তনের অক্ষ পৃথিবীর নিজের উত্তর-দক্ষিণ অক্ষ। λ অক্ষাংশে (Latitude-এ) ভূপৃষ্ঠের কোন বস্তু উত্তর-দক্ষিণ অক্ষে বৃত্তাকারে $R \cos \lambda$ ব্যাসার্ধে সুষম দ্রুতিতে ঘোরে। বস্তুটির উপর পৃথিবীর টানের কিছু অংশ উহাকে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল $m\omega^2 R\cos\lambda$ জোগায়। নিরক্ষরেখায় ($\lambda = 0°$) এই বল সবচেয়ে বেশী; মেরুতে ($\lambda = 90°$) সবচেয়ে কম। এই কারণেও অক্ষাংশ বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে g-ও বাড়ে। (পৃথিবীর দৈনিক আবর্তনের কৌণিক বেগ $\omega = 7{\cdot}3 \times 10^{-5}$ rad/s।)

(খ) ভূপৃষ্ঠের উর্ধ্বে। কোন বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় নিয়া গেলে ভূকেন্দ্র হইতে উহার দূরত্ব হইবে $(R+h)$। এক্ষেত্রে পৃথিবীর ভর ভূকেন্দ্রে সংহত বলিয়া ধরা যায়। অতএব $g = GM/(R+h)^2$ হইবে। R-এর তুলনায় h অনেক ছোট হইলে বাইনোমিয়াল থিওরেম প্রয়োগ করিয়া লেখা যায় $g = (GM/R^2)(1 - 2h/R)$। ইহা হইতে দেখা যায় ভূপৃষ্ঠের কাছে প্রতি কিলোমিটার উচ্চতা বৃদ্ধিতে g 0·3 cm/s^2 করিয়া কমে।

(গ) ভূনিম্নে। ভূনিম্নে (মনে কর খনির ভিতরে) পৃথিবীর আকর্ষণে পৃথিবীর সম্পূর্ণ ভর ক্রিয়া করে না। ভূকেন্দ্র হইতে আকৃষ্ট বস্তুর দূরত্বকে ব্যাসার্ধ ধরিয়া পৃথিবীর সহিত সমকেন্দ্রিক গোলকে যে পরিমাণ ভর থাকে, আকর্ষণ হয় ততখানি ভরের জন্য। পৃথিবীকে সমসত্ত্ব গোলক কল্পনা করিলে, ভূপৃষ্ঠ হইতে d গভীরতায় g রাশিটি $(R-d)$-র সমানুপাতিক হয়। $d = R$ হইলে (অর্থাৎ ভূকেন্দ্রে) $g = 0$ হয়। বস্তুর ভার mg বলিয়া, ভূকেন্দ্রে কোন বস্তুর ভার বা ওজন থাকে না।

পৃথিবী আসলে সমসত্ত্ব নয়। উহা বাহিরের দিকে হালকা, ভিতরের দিকে ভারী। এই কারণে গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে g প্রথমে কিছু বাড়ে, পরে কমিতে থাকে। কেন্দ্রে $g = 0$ হইবে।

1-9.1. পৃথিবীর ভর (Mass of the earth)। g, G এবং R-এর মান জানা থাকায় আমরা 1-5.2 সমীকরণের সাহায্যে M, অর্থাৎ পৃথিবীর ভর বাহির করিতে পারি। ধর, $g = 9{\cdot}8$ m/s^2, $G = 6{\cdot}67 \times 10^{-11}$ এম্‌কেএস্ একক (বা $6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সিজিএস্ একক) এবং $R = 6{\cdot}367 \times 10^6$ m। সমীকরণে এই মানগুলি বসাইয়া পাই $M = 5{\cdot}96 \times 10^{24}$ kg। পৃথিবীর গড় ঘনত্ব ρ হইলে $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$। ইহা হইতে পাওয়া যায় $\rho = 5{\cdot}5 \times 10^3$ kg/m^3 বা 5·5 g/cm^3। ভূত্বকে পাথরের গড় ঘনত্ব প্রায় 3·5 g/cm^3। ইহা হইতে বোঝা যায় ভূত্বকের নিচের দিকে পৃথিবীর ভিতরের বস্তুর গড় ঘনত্ব বেশী। পৃথিবী আসলে সমসত্ত্ব গোলক নয়।

1-10. গ্রহের গতি (Motion of planets)। সূর্যের মহাকর্ষীয় টান গ্রহগুলিকে নিজ নিজ কক্ষপথে ঘোরায়; ঐ টানই প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল। কক্ষগুলি উপবৃত্ত হইলেও উহাদের বৃত্তাকার মনে করিয়া অভিকেন্দ্র বল = মহাকর্ষীয় টান, এই সমীকরণ প্রয়োগে সুন্দর ফল পাওয়া যায়।

ধর, M = সূর্যের ভর, m = গ্রহের ভর, v = কক্ষপথে গ্রহের দ্রুতি, r = সূর্য ও গ্রহে দূরত্ব। সূর্যের চারদিকে এক পাক ঘুরিতে গ্রহের T সময় লাগিলে (T = গ্রহের বৎসর বা পর্যায়কাল)

$$GMm/r^2 = mv^2/r \text{ বা } GM/r = v^2 = (2\pi r/T)^2$$

$$\therefore \quad T^2/r^3 = 4\pi^2/GM = \text{স্থির রাশি} \qquad (1\text{-}10.1)$$

এই সম্পর্ক গ্রহের ভরের উপর নির্ভর করে না। সকল গ্রহের ক্ষেত্রে T^2/r^3 = একই স্থির রাশি। ইহাকে কেপলারের তৃতীয় সূত্র (Kepler's third law) বলে।

উপগ্রহের গতি (Motion of satellites)। উপগ্রহগুলিও নিজ নিজ গ্রহের মহাকর্ষীয় টানে গ্রহের চারদিকে উপবৃত্ত পথে ঘোরে। এখানেও আলোচনার সুবিধার জন্য গ্রহের চারদিকে উপগ্রহের কক্ষ আমরা বৃত্তাকার ধরিব। এখানেও অভিকেন্দ্র বল = গ্রহে উপগ্রহে মহাকর্ষীয় টান। অতএব এ-ক্ষেত্রেও 1-10.1 সমীকরণ প্রযোজ্য হয়; প্রভেদ কেবল T, r এবং M-এর অর্থে। M = গ্রহের ভর, m = উপগ্রহের ভর, r = উপগ্রহের কক্ষের ব্যাসার্ধ, T = উপগ্রহের পর্যায়কাল, অর্থাৎ নিজ কক্ষে সম্পূর্ণ এক পাক ঘুরিতে যে সময় লাগে তাহা, এবং কক্ষে উপগ্রহের বেগ v হইলে অভিকেন্দ্র বল = mv^2/r এবং মহাকর্ষীয় টান = GMm/r^2। আগের মত $v = 2\pi r/T$ এবং

$$GMm/r^2 = mv^2/r = 4\pi^2 r^2 m/rT^2$$

$$\text{বা,} \quad \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM} = \text{স্থির রাশি} \qquad (1\text{-}10.2)$$

একই গ্রহের একাধিক উপগ্রহ থাকিলে এবং উহাদের কোনটি নকল উপগ্রহ (artificial satellite) হইলেও প্রত্যেকটি উপগ্রহের ক্ষেত্রে T^2/r^3-এর মান একই হইবে কারণ $4\pi^2/GM$ রাশিটি নির্দিষ্ট গ্রহের ক্ষেত্রে স্থির মান।

প্রশ্ন। (১) 1-10.1 সমীকরণের সাহায্যে **সূর্যের ভর** হিসাব কর। দেওয়া আছে $G = 6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সিজিএস্ একক, পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব = $1{\cdot}5 \times 10^{13}$ cm। (T = এক বৎসর = $365\frac{1}{4} \times 86{,}400$ সেকেণ্ড ধরিবে।) [উঃ প্রায় 2×10^{33} g]

(২) ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি **নকল উপগ্রহের প্রদক্ষিণ কাল** হিসাব কর। ভূকেন্দ্র হইতে নকল উপগ্রহের দূরত্ব = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = R ধর।

[সংকেত: 1-10.2 সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় $T^2 = 4\pi^2 R^3/GM$। ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g = GM/R^2$। অতএব $T^2 = 4\pi^2 R/g$ বা $T = 2\pi\sqrt{R/g}$। $g = 980$ cm/s² এবং $R = 6{\cdot}4 \times 10^8$ cm ধরিয়া হিসাব কর। উঃ প্রায় 1 hr 25 min.]

1-11. পলায়নের বেগ (Escape velocity)।

কোন বস্তু উপরের দিকে ছুড়িয়া দিলে উহা সাধারণত মাটিতেই ফিরিয়া আসে। বেশী জোরে ছুড়িলে উহা বেশী উপরে ওঠে, কিন্তু আবার মাটিতেই পড়ে। উহার উপর পৃথিবীর মহাকর্ষীয় টানের জন্যই উহা ফিরিয়া আসে। যথেষ্ট জোরে ছুড়িতে পারিলে উহা আর ফিরিবে না; পৃথিবীর টান উহাকে ধরিয়া রাখিতে পারিবে না। কমপক্ষে যে বেগে ছুড়িলে

বস্তু পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে চলিয়া যাইবে, তাহাকে **Escape velocity** (পলায়নের বেগ, না-ফেরার বেগ বা মুক্তির বেগ) বলে।

উর্ধ্বাধ গতিতে শক্তিসংরক্ষণ সূত্রের প্রয়োগে (বলবিজ্ঞান, 4-5 বিভাগ) আমরা দেখিয়াছি স্থিতিশক্তিহ্রাস = গতিশক্তিবৃদ্ধি (বা গতিশক্তিহ্রাস = স্থিতিশক্তিবৃদ্ধি)। অসীম দূরত্ব হইতে কোন বস্তু পৃথিবীর আকর্ষণে ভূপৃষ্ঠে আসিয়া পৌছিতে যে বেগ পাইবে তাহাই ভূপৃষ্ঠ হইতে বস্তুর পলায়নের বেগ। ঐ বেগ দিতে পারিলে বস্তু আবার অসীম দূরত্বে যাইতে পারিবে। সাধারণ গণিত প্রয়োগে এই বেগের মান হিসাব করা একটু জটিল ; কিন্তু সমাকলন গণিত (Integral calculus)-এর সাহায্যে গণনা সহজ। গণনায় দেখা যায় পৃথিবীর ভর M, ব্যাসার্ধ R এবং মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা G হইলে ভূপৃষ্ঠ হইতে পলায়নের বেগ $v_0 = \sqrt{2GM/R}$। ভূপৃষ্ঠে v_0-র মান প্রায় 11·2 km/s বা 7 mi/s। ইহা বায়ুতে শব্দের বেগের প্রায় 30 গুণ।

প্রত্যেক গ্রহ বা উপগ্রহের নিজস্ব অভিকর্ষ আছে, এবং সেই কারণে উহাদের ক্ষেত্রেও পলায়নের বেগের কল্পন প্রযোজ্য। গ্রহ, উপগ্রহের ক্ষেত্রে M উহার ভর এবং R উহার ব্যাসার্ধ। মঙ্গলগ্রহ (Mars) হইতে পলায়নের বেগ 5·0 km/s, বুধগ্রহ (Mercury) হইতে 3·8 km/s এবং চাঁদ হইতে 2·4 km/s।

জানিয়া রাখা ভাল যে কোন বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ হইতে পলায়নের বেগ দিতে হইলে উহাকে খাড়াভাবেই ছুড়িতে হইবে, তাহা নয়। যে কোন দিকে উহাকে ঐ বেগ দিলে উহা পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে চলিয়া যাইবে।

1-12. নকল পার্থিব উপগ্রহে ভারহীনতা (Weightlessness in artificial earth satellites)। সূর্যের মহাকর্ষীয় আকর্ষণ গ্রহগুলিকে কক্ষে ঘুরাইবার প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগায়। চাঁদের উপর পৃথিবীর আকর্ষণ চাঁদকে নিজকক্ষে ঘুরিবার অভিকেন্দ্র বল জোগায়। পৃথিবীর চারদিকে আমরা যদি নকল উপগ্রহ ঘুরাইতে চাই, পৃথিবীর আকর্ষণই উহাকে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাইবে।

ধরা যাক, ভূপৃষ্ঠ হইতে h দূরত্বে m-ভরের কোন নকল উপগ্রহ আমরা বৃত্তপথে ঘুরাইতে চাই। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হইলে এই নকল উপগ্রহের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $(R+h)$। ঐ দূরত্বে উপগ্রহের উপর পৃথিবীর আকর্ষণ $GMm/(R+h)^2 = mg_h$। এখানে M পৃথিবীর ভর, G মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা এবং g_h ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় অভিকর্ষীয় ত্বরণ। উপগ্রহটি যদি v দ্রুতিতে ঐ কক্ষে ঘুরিতে থাকে, তবে বর্ণিত রাশিগুলির মধ্যে সম্পর্ক হইবে

$$GMm/(R+h)^2 = mg_h = mv^2/(R+h) \text{ বা } g_h = v^2/(R+h)।$$

$R+h$ ব্যাসার্ধের কক্ষে উপরের সম্পর্ক দিয়া নির্দিষ্ট v বেগে নকল উপগ্রহটি ঘুরিতে পারিবে। নকল উপগ্রহের উপর পৃথিবীর টান অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে সম্পূর্ণ খরচ হইবে। নকল উপগ্রহটি যদি একটি যান (vehicle, space-craft) হয়,

তাহা হইলে উহার ভিতরে কোন বস্তু বা আরোহী যানের মেজের উপর পৃথিবীর টান জনিত কোন বল প্রয়োগ করিতে পারিবে না। কারণ, **এই টান তাহাকে বৃত্তপথে ঘুরাইতে সম্পূর্ণভাবে ব্যয়িত হইতেছে।** যানের ভিতরে কোন বস্তু নিরালম্ব অবস্থায় রাখিয়া দিলে উহা শূন্যেই থাকিবে, মেজেয় পড়িবে না। যানের ভিতরের সকল বস্তুই এই রকম **ভারহীন** হইবে। কিন্তু কাহারও জড়ত্বীয় বা মহাকর্ষীয় ভরের ('বলবিজ্ঞান', 1-7.4 বিভাগ) কোন পরিবর্তন হইবে না। যানের ভিতরে কোন বস্তু নাড়াইতে নিউটনের সূত্র অনুযায়ী বলপ্রয়োগ করিতে হইবে। বিভিন্ন বস্তুর ভিতর মহাকর্ষও ক্রিয়া করিবে। কোন কারণে উপগ্রহের বেগ কমিলে উহা কক্ষচ্যুত হইয়া নিচের দিকে নামিতে থাকিবে।

আসল হউক, নকল হউক সকল উপগ্রহই গ্রহের মহাকর্ষীয় টানে উহার চারদিকে ঘোরে। মহাকর্ষীয় টান অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে সম্পূর্ণ খরচ হয়। পৃথিবীর নকল উপগ্রহের ভিতরে বস্তুগুলি যদি সম্পূর্ণ ভারহীন হয়, তাহা হইলে চাঁদেও বস্তুগুলি ভারহীন হইবে কি না? চাঁদের উপরস্থ কোন বস্তু পৃথিবীর আকর্ষণের জন্য চাঁদের গায় কোন চাপ দিতে পারিবে না, কারণ এই আকর্ষণ উহাকে ঘুরিবার অভিকেন্দ্র বল জোগাইতেছে। কিন্তু চাঁদ বস্তুটিকে নিজ কেন্দ্রের দিকে টানিতেছে; ঐ বস্তুর উপর চাঁদের মহাকর্ষীয় টান আছে। চাঁদের পিঠে চন্দ্রীয় অভিকর্ষে g_m-এর মান 1-5.2 সমীকরণের মত সমীকরণ দিয়াই পাওয়া যায়। $g_m = GM_m/R_m^2$; এখানে M_m চাঁদের ভর এবং R_m = চাঁদের ব্যাস। হিসাবে দেখা যায় $g_m = 163$ cm/s^2 অর্থাৎ পৃথিবীর g-র প্রায় 1/6। পৃথিবীতে তোমার ওজন 60 kg হইলে চাঁদের পিঠে হইবে প্রায় 10 kg।

অনুশীলনী

1. মহাকর্ষীয় সূত্রটি বল এবং উহা সংকেতে প্রকাশ কর। মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা কাহাকে বলে? সিজিএস্ এককে উহার মান কত? উহাকে নিত্যসংখ্যা (universal constant) বলা হয় কেন?

2. দুটি গোলকের ভর যথাক্রমে M_1 ও M_2 এবং ব্যাসার্ধ r_1 ও r_2। উহাদের মধ্যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ কত? ভর দুইটি আকারে গোলক না হইয়া চৌকা বা অন্য আকারের হইলে তোমার সমীকরণ সত্য হইত কি না বুঝাইয়া বল।

3. গ্রহের গতিতে মহাকর্ষের অংশ কি? গ্রহের কক্ষ বৃত্তাকার ধরিয়া গ্রহের পর্যায়কাল ও কক্ষের ব্যাসার্ধের সম্পর্ক বাহির কর। (সংকেত—1-10 বিভাগ)

4. অভিকর্ষীয় ত্বরণ কাহাকে বলে? পৃথিবীর ভরের সঙ্গে উহার সম্পর্ক কি? (সংকেত—1-5.1 সমীকরণ।) পৃথিবীর ভর $5{\cdot}96 \times 10^{27}$ g, উহার ব্যাসার্ধ $6{\cdot}367 \times 10^8$ cm এবং মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা $6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সিজিএস্ একক হইলে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ কত?

5. ভূপৃষ্ঠে অক্ষাংশের সঙ্গে অভিকর্ষীয় ত্বরণ কি কারণে বদলায় আলোচনা কর। নির্দিষ্ট কোন স্থানে ভূপৃষ্ঠের উর্ধ্বে বা নিচে g আলাদা হয় কেন কারণ দেখাইয়া বল।

6. ভর ও ভারে প্রভেদ কি? কোন্ কোন্ অবস্থায় ভর থাকিবে, ভার থাকিবে না, কারণ দেখাইয়া বল। স্প্রিং তুলায় পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে ভারের প্রভেদ ধরা পড়িতে পারে; কিন্তু সাধারণ তুলায় ইহা ধরা পড়িবে না কেন?

7. নকল পার্থিব উপগ্রহে কোন বস্তুকে ভারহীন মনে হয় কেন ব্যাখ্যা কর। এরূপ উপগ্রহের ভিতরে কোন বস্তু সরাইতে বলের প্রয়োজন হইবে কি ন বুঝাইয়া বল।

8. নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্র দুইটি কণার মধ্যে আকর্ষণের কথা বলে। কিন্তু আকৃষ্ট বস্তু দুইটি বিস্তৃত পরিসরের হইলে সূত্র কিভাবে প্রয়োগ করা যাইবে? বিস্তৃত বস্তুটি কি আকারের হইলে গণনা সহজ হয়। এরূপ ক্ষেত্রে ফল কি?

কোন্ কোন্ ক্ষেত্রে বস্তু বিস্তৃত আয়তনের হইলেও উহাদের কণা মনে করিয়া নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্র প্রয়োগ করা চলিবে?

9. বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে গ্যালিলিওর সূত্রগুলি কি কি? ঐ গুলি হইতে কি ভাবে সিদ্ধান্ত করিতে পার যে ভূপৃষ্ঠে বিনা বাধায় পড়ন্ত সকল বস্তু একই ত্বরণে পড়ে?

10. ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন স্থানে, ভূগর্ভে এবং ঊর্ধ্বে অভিকর্ষীয় ত্বরণ সমান নয় কেন কারণ দেখাইয়া বল।

11. পলায়নের বেগ (Escape velocity) বলিতে কি বুঝায়? ভূপৃষ্ঠে উহার মান কত? সকল গ্রহেই কি ইহা সমান? কোন বস্তুকে এই বেগ দিতে হইলে উহা কোন্ দিকে দেওয়া দরকার?

12. কোন বস্তু (ক) উপর হইতে নিচে নিক্ষিপ্ত হইলে, (খ) নিচ হইতে খাড়া উপরে উৎক্ষিপ্ত হইলে, উহার গতীয় সমীকরণগুলি কি কি হইবে বল। চিহ্নগুলির অর্থ পরিষ্কার ব্যাখ্যা করিও।

13. কোন বস্তু v বেগে ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত হইলে উহা কতদূর উঠিবে এবং উঠিতে কত সময় লইবে?

14. ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর ক্ষেত্রে প্রমাণ কর যে

(ক) নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠিবার বেগ ও পড়িবার বেগ সমান।

(খ) ঊর্ধ্বতম বিন্দুতে উঠিতে যে সময় লাগে, সেখান হইতে নিচে পড়িতেও সেই সময়ই লাগে।

(গ) শেষ 1m উঠিতে যে সময় লাগে, 1m পড়িতেও সেই সময়ই লাগে।

15. অভিকর্ষীয় ত্বরণ 9·8 m/s^2, 980 cm/s^2 বা 32 ft/s^2 বলিতে কি বুঝায়? m/s^2 এবং ms^{-2} উভয়ের অর্থ একই, এরূপ বলা হয় কেন?

16. আমরা বলি 'সকল বস্তু একই ত্বরণে নিচের দিকে পড়ে'। কিন্তু একটি ঢিল ও এক টুকরা কাগজ একসঙ্গে মাটিতে পড়ে না। ইহার কারণ বল। আমাদের প্রথম উক্তিটিতে কি ত্রুটি আছে? আলোচ্য ক্ষেত্রে সে ত্রুটি দূর করিয়া কথাটির সত্যতা কি ভাবে প্রমাণ করা যায়?

17. বিনা বাধায় পড়ন্ত বস্তুর পতনের সূত্রগুলি লেখ। সংকেতগুলির অর্থ ব্যাখ্যা করিও, এবং কোন্ রাশিটির অভিমুখ কোন্ দিকে তাহাও বলিও।

এক টুকরা পাথর স্থির অবস্থা হইতে পড়িতে শুরু করিয়া 4·5 সেকেণ্ডে 44·1 m/s বেগ লাভ করিল। উহার ত্বরণ কত, এবং উহা কতটা নিচে পড়িল? [উ: 9·8 m/s^2 ; 99·2 m]

18. (ক) খাড়া উপরে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর গতির সমীকরণগুলি লেখ (বায়ুর বাধা উপেক্ষণীয়)। সংকেতগুলির অর্থ বলিও এবং কোন্‌টিকে কোন্‌দিকে পজিটিভ ধরা হইতেছে তাহাও বলিও।

19. (ক) কোন বস্তু স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় পড়িতেছে। (ক) তিন সেকেণ্ডে এবং (খ) তৃতীয় সেকেণ্ডে উহা কতদূর পড়িবে? ($g = 980$ cm/s^2)। [উ: 4410 cm ; 2450 cm]

(খ) প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় সেকেণ্ডে বস্তুটির গড় বেগ কত?

[উ: 490 cm/s ; 1470 cm/s, 2450 cm/s]

20. কোন বস্তুকে 80 ft/s বেগে খাড়া উপরে ছুড়িয়া দেওয়া হইল। উহা কতক্ষণ ধরিয়া উঠিবে? কতদূর উঠিবে? অর্ধপথে উহার বেগ কত হইবে? ($g = 32$ ft/s^2) [উ: 2·5 s ; 100 ft ; $40\sqrt{2}$ ft/s]

21. কত আদি বেগ দিয়া একটি বস্তুকে উপরে ছুড়িলে উহা 144 ft উঠিবে? ছোড়ার কত পরে

উহা 80 ft উপরে থাকিবে? এই সময়ের দুইটি মান কেন পাওয়া যায় তাহার কারণ বল। ($g=32$ ft/s^2।) [উঃ 96 ft/s; উপরে ওঠার সময় 1 s পরে; নামার পথে 5 s পরে।]

22. সূর্যের চারদিকে গ্রহের গতিতে মহাকর্ষীয় টান ও অভিকেন্দ্র বল কত কত বল। গ্রহের কক্ষ বৃত্তাকার মনে কর এবং গ্রহের বৎসরের সঙ্গে উহার কক্ষের ব্যাসার্ধের সম্পর্ক বাহির কর।

23. ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g=980$ cm/s^2, মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ সিজিএস্ একক এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km হইলে পৃথিবীর ভর কত হিসাব কর। প্রয়োজনীয় সমীকরণ স্থাপন করিয়া নিও।

24. ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি একটি নকল উপগ্রহ বৃত্তপথে পৃথিবী প্রদক্ষিণ করিতে থাকিলে উহার প্রদক্ষিণ কাল কত হইবে হিসাব কর। দেওয়া আছে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R=6400$ km এবং অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g=980$ cm/s^2।

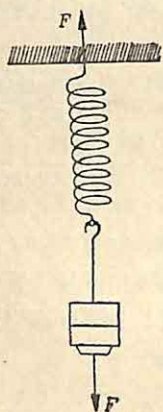
25. চাঁদের ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের 0·27 গুণ এবং চাঁদের ভর পৃথিবীর ভরের 1/81 অংশ হইলে, চাঁদের পিঠে 1 kg ভরের ওজন কত হইবে? ভূ-পৃষ্ঠে তুমি খাড়া 5 ft লাফাইতে পাড়িলে, একই বল প্রয়োগে চাঁদের পিঠে খাড়া কতখানি লাফাইতে পাড়িবে? [উঃ প্রায় 1/6 kg এবং 30 ft।]

26. নিচের উপাত্তগুলি হইতে সূর্য ও মঙ্গলগ্রহের দূরত্ব বাহির কর: পৃথিবীর কক্ষের ব্যাসার্ধ $=148{\cdot}65\times10^6$ km; বৎসর $=365{\cdot}25$ দিন; মঙ্গলগ্রহের বৎসর $=687$ দিন।

[উঃ $226{\cdot}5\times10^6$ km।]

27. চাঁদের দূরত্ব পৃথিবীর ব্যাসার্ধের 60 গুণ ও ভূ-পৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ $=980$ cm/s^2 হইলে চাঁদের দূরত্বে অভিকর্ষীয় ত্বরণ কত? [উঃ 0·27 cm/s^2।]

২ স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)

2-1. স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)। কোন বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বলগুলি প্রতিমিত (balanced) না থাকিলে বলের লব্ধি (বা উদ্বৃত্ত অংশ) বস্তুকে নিজ ক্রিয়ামুখে ত্বরণ দেয়। বলগুলি প্রতিমিত থাকিলে বস্তু স্থান ত্যাগ করে না, কিন্তু উহার আকার বা আয়তনের বিকার ঘটে। কোন ঝুলান স্প্রিংএর কথা ধর (2·1 চিত্র)। দুইটি সমান ও বিপরীত বলের ক্রিয়ায় স্প্রিং সাম্যে আছে। একটি হইল নিচের দিকে উহার উপর টান; দ্বিতীয়টি হইল উহার উপর ধারকের উর্ধ্বমুখী প্রতিক্রিয়া। স্প্রিং নিচের দিকে আর একটু টানিলে, এই বল যেমন বাড়ে তেমনি ধারকের প্রতিক্রিয়াও বাড়ে। স্প্রিং সাম্যেই থাকে, কিন্তু লম্বায় একটু বড় হয়। প্রতিমিত বলের ক্রিয়ায় এখানে দৈর্ঘ্য বাড়িল। অনেক সময়ই আমরা ধারকের প্রতিক্রিয়ার কথা ভাবি না, এবং বলি টান বাড়াইয়া দৈর্ঘ্য বাড়ান হইল। আসলে একটি মাত্র বল এখানে ক্রিয়া করে না; উহার সমান ও বিপরীত বলও থাকে। দুই-এর যৌথ ক্রিয়ায় বস্তুর বিকার (deformation) ঘটে।

চিত্র 2·1

উপরের উদাহরণে, হাত দিয়া স্প্রিং টানিলে হাতেও একটি উর্ধ্বমুখী বল টের পাওয়া যায়। স্প্রিং যত জোরে টানা যায়, এই বলও তত বেশী হয়। স্প্রিং ছাড়িয়া দিলে, অর্থাৎ টান সরাইয়া নিলে, স্প্রিং আগের দৈর্ঘ্য ফিরিয়া পায়। এই সহজ নিরীক্ষা এবং অনুরূপ অন্যান্য উদাহরণ হইতে বোঝা যায়

(ক) বস্তুর আকার বা আয়তনের পরিবর্তন (বিকার) ঘটাইতে গেলে বস্তুটি পরিবর্তন প্রতিরোধ করে এবং

(খ) বিকার ঘটাইবার বল যখন সরাইয়া লওয়া হয়, তখন বস্তু আগের আকার বা আয়তনে ফিরিয়া যায়।

পদার্থের যে ধর্মের জন্য উহা আকার বা আয়তন পরিবর্তন প্রতিরোধ করে তাহাকে **স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)** বলে। বিকার ঘটাইবার বল সরাইয়া নিলে বস্তুটি যদি পুরাপুরি তাহার আদি অবস্থায় ফিরিয়া যায় তাহা হইলে উহাকে 'সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক' **(perfectly elastic)** বলে। বিকারের বল সরাইয়া নিলে বস্তুটি যদি বিকৃতরূপেই থাকিয়া যায় তখন উহাকে 'সম্পূর্ণ নমনীয়' **(perfectly plastic)** বলে। আর, যতই বল প্রয়োগ করা যাক, উহাতে বস্তুটির যদি কোন বিকার না হয়,

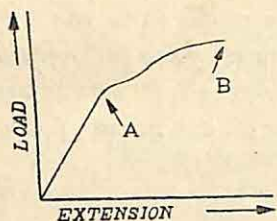
তবে উহাকে বলে 'সম্পূর্ণ দৃঢ়' (**perfectly rigid**)। কোন বস্তুই সম্পূর্ণ দৃঢ় হইতে পারে না; এরূপ দৃঢ়তা কল্পনার জিনিস। তবে একই বল প্রয়োগে বিভিন্ন বস্তুর বিকারের পরিমাণ বিভিন্ন হয়। কাচ বা লোহার আয়তন চাপিয়া সহজে কমান যায় না, কিন্তু রবারের যায়। বিজ্ঞানের ভাষায় বলিতে হয় কাচ বা লোহার স্থিতিস্থাপকতা বেশী, রবারের কম। (চলিত ভাষায় আমরা ইহার বিপরীত বলি। রবার টানিলে সহজে বাড়ে বলিয়া রবার ব্যাণ্ডকে আমরা ইলাস্টিক বলি; এরূপ নামকরণ বিজ্ঞান-সম্মত নয়।)

2-1.1. আপেক্ষিক বিকার, বিকারাংক বা ততি (Strain)। বল-প্রয়োগে বস্তুর দৈর্ঘ্য, আকার বা আয়তনের যে পরিবর্তন হয় তাহাকে আমরা 'বিকার' (deformation) বলিব। বল প্রয়োগে বস্তু 'বিকৃত' (strained) হয়। **আপেক্ষিক বিকারকে ততি** বা **বিকারাংক (strain) বলে।** কোন্ প্রকার বিকারের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক বিকার (ততি বা বিকারাংক) কিভাবে ধরা হয়, তাহা বিভিন্ন বিকার আলোচনার সময় বলা হইবে। কখন কখন 'বিকার' বুঝাইতেও 'ততি' কথাটি ব্যবহার হয় বলিয়া 'ততি'-র বদলে 'বিকারাংক' ব্যবহার বাঞ্ছনীয়।

2-1.2. পীড়ন বা পীড়নাংক (Stress)। সাম্যে অবস্থিত বস্তুর উপর বলপ্রয়োগে উহা বিকৃত হইলে, প্রযুক্ত বল কণা পরম্পরা বস্তুর ভিতরে সঞ্চালিত হয় এবং বস্তুর ভিতরে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার বল গঠিত হয়। বস্তুর ভিতরে কোথাও কোন তল কল্পনা করিলে তলের একপাশে অবস্থিত অংশ তল ভেদ করিয়া অন্যপাশে অবস্থিত অংশের উপর বল প্রয়োগ করে। প্রতি একক ক্ষেত্রফলের তল ভেদ করিয়া বস্তুর এক অংশ অন্য অংশের উপর যে বল প্রয়োগ করে তাহাকে **পীড়ন বা পীড়নাংক (Stress)** বলে। বিকার সৃষ্টিকারী বলকেও অনেক সময় পীড়ন বলিয়া উল্লেখ করা হয়। এজন্য একক তলের পীড়নকে 'পীড়নাংক' বলা বাঞ্ছনীয় মনে হয়।

বস্তুর ভিতরে একই স্থানে তল বিভিন্ন দিকে নিলে, পীড়নের মান সাধারণত বিভিন্ন হয়। আমাদের আলোচনায় আমরা নির্দিষ্ট দিকে পীড়ন সর্বত্র সমান বলিয়া ধরিব। **বল/ক্ষেত্রফল** অনুপাত পীড়নের বা পীড়নাংকের মান। পীড়নের বল আলোচ্য তলের অভিলম্বে না থাকিতেও পারে। এরূপক্ষেত্রে পীড়নকে তলের অভিলম্বে ও তলের সমতলে দুই উপাংশে ভাগ করা যায়। উহাদের যথাক্রমে 'অভিলম্ব পীড়ন' (Normal stress) ও 'স্পার্শক পীড়ন' (Tangential stress) বলে।

2-1.3. স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic limit)। একগাছা তারের দুই প্রান্তে টান ক্রমশ বাড়াইয়া যাইতে থাকিলে উহার দৈর্ঘ্য প্রথমে প্রযুক্ত বলের সমানুপাতে বাড়িতে থাকিবে। এই অবস্থায় বল সরাইয়া নিলে তার উহার আদি দৈর্ঘ্যে ফিরিয়া যায়। প্রযুক্ত বল একটি সীমা ছাড়াইলে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি বলের তুলনায় বেশী হয়; দুইএর মধ্যে সমানুপাতিকতা থাকে না। এখন বল সরাইয়া নিলে তারে খানিকটা

স্থায়ী বৃদ্ধি থাকিয়া যায়। পীড়নের যে চরম মান পর্যন্ত পীড়ন সরাইয়া নিলে বস্তু সম্পূর্ণ ভাবে তাহার আদি অবস্থায় ফিরিয়া যায় সেই চরম মানকে আলোচ্য পদার্থের **স্থিতিস্থাপক সীমা** বলে।

চিত্র 2·2

তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধিকে ভুজ ও প্রযুক্ত বলকে কোটি করিয়া গ্রাফ আঁকিলে উহা অধিকাংশ ক্ষেত্রে 2·2 চিত্রের মত হয়। মূলবিন্দু হইতে গ্রাফের A বিন্দু পর্যন্ত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক। পরে দৈর্ঘ্য বলের তুলনায় বেশী বাড়ে। B বিন্দু টানের ক্রিয়ায় তার ছিড়িয়া যাওয়া বুঝায়। A বিন্দু স্থিতিস্থাপক সীমা নির্দেশ করে।

2-2. হুকের সূত্র (Hooke's law)। স্থিতিস্থাপকতা আলোচনার মূল সূত্র বাহির করেন ইংরেজ বৈজ্ঞানিক রবার্ট হুক (1678 খ্রীঃ)। এই সূত্রে বলে **স্থিতিস্থাপক সীমা না ছাড়াইলে পীড়ন ততির আনুপাতিক হইবে।**

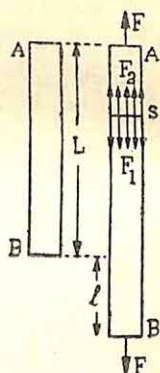
পীড়ন ∝ ততি বা পীড়ন = স্থিরাংক × ততি,

বা পীড়ন/ততি = স্থিরাংক।

এই স্থিরাংককে **স্থিতিস্থাপক গুণাংক (Modulus of elasticity)** বলে।

[এখানে এবং পরে, 'পীড়ন'-এর বদলে 'পীড়নাংক' ও 'ততি'র বদলে 'বিকারাংক' বলা চলিবে।]

2-2.1. মৌলিক পীড়ন ও ততি (Primary stresses and strains)। তিন প্রকারের পীড়ন ও ততিকে মৌলিক বলা হয়—(১) টানসংক্রান্ত (tensile), (২) চাপসংক্রান্ত (compressive) এবং (৩) কৃন্তনসংক্রান্ত (shearing)। টানে দৈর্ঘ্য বাড়াইবার দুইটি সমান ও বিপরীত বল একই রেখায় বস্তুর দুই প্রান্তে ক্রিয়া করে। চাপে দৈর্ঘ্য কমাইবার ঐরূপ বল থাকে। কৃন্তনে থাকে একই অক্ষের অভিলম্বে বিভিন্ন তলে দুইটি সমান ও বিপরীত স্পার্শক বল বা দ্বন্দ্ব।

(ক) টানের ততি ও পীড়ন (Tensile strain and stress)। 2·3 চিত্রে AB L-দৈর্ঘ্যের সমান ছেদের একগাছা তার। উহার দুই প্রান্তে টান (F, F) প্রয়োগ করিলে দৈর্ঘ্য বাড়িতে থাকে; সঙ্গে সঙ্গে অভ্যন্তরীণ, বিকার-প্রতিরোধী বলও ক্রিয়া করিতে শুরু করে। দৈর্ঘ্য বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে অভ্যন্তরীণ বলও বাড়ে। এই বল বাড়িয়া প্রযুক্ত বলের সমান হইলে দৈর্ঘ্য আর বাড়ে না।

চিত্র 2·3

নূতন সাম্যাবস্থায় তারের দৈর্ঘ্য l পরিমাণ বাড়িয়া থাকিলে l/L অনুপাতকে **টানের ততি (টানের আপেক্ষিক বিকার বা বিকারাংক; tensile strain)** বলে। l ও L উভয়ে দৈর্ঘ্য বলিয়া l/L অনুপাত একটি বিশুদ্ধ সংখ্যা; উহা প্রকাশ করিতে কোন একক (unit)-এর দরকার হয় না।

তারের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে কল্পিত কোন S-তল দিয়া তারকে দুই অংশে বিভক্ত মনে কর এবং উহার AS অংশের সাম্য বিচার কর। আমরা জানি উহার উপরের তলে ঊর্ধ্বমুখী F বল ক্রিয়া করিতেছে। AS সাম্যে আছে বলিয়া উহার নিচের S তলে নিশ্চয়ই নিম্নমুখী $F_1 = F$ বল ক্রিয়া করিবে। একমাত্র SB অংশই S তল ভেদ করিয়া AS অংশের উপর এরূপ বল প্রয়োগ করিতে পারে।

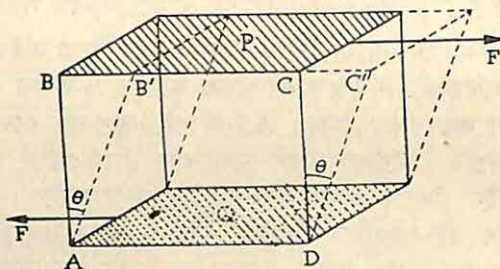
অনুরূপে BS অংশের সাম্য বিবেচনা করিলে বুঝিতে হইবে BS-এর উপর B-তলে ক্রিয়াশীল নিম্নমুখী F বলকে প্রতিমিত করিতে S-তলের অভিলম্বে ঊর্ধ্বমুখে $F_2 = F$ বল ক্রিয়া করিবে। একমাত্র AS অংশই এরূপ বল প্রয়োগ করিতে পারে। এই অভ্যন্তরীণ বলগুলি দৈর্ঘ্য পরিবর্তনে বাধা দেয় এবং প্রযুক্ত বল সরাইয়া নিলে তারের দৈর্ঘ্য কমাইয়া উহাকে প্রথম অবস্থায় নিয়া যাইতে চায়। কল্পিত S তলের অভিলম্ব অভ্যন্তরীণ এই বলগুলিকে **টানের পীড়ক বল (tensile stress)** বলে। প্রযুক্ত বল (F) তারের ছেদের সম্পূর্ণ ক্ষেত্র জুড়িয়া সর্বত্র সমানভাবে ক্রিয়া করিলে প্রস্থচ্ছেদের প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে এইরূপ বলের মান সমান হইবে। একক বর্গক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল বলের মানই পীড়নের মান বা **পীড়নাংক**। S তলের ক্ষেত্রফল a হইলে **টানের পীড়নাংক** $= F/a$। তারের আড়াআড়ি যে কোন S ছেদের দুই দিকের অংশের উপর ইহারা বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে।

বস্তুর স্বাভাবিক অবস্থায় উহার অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণে আণবিক দূরত্ব একটা নির্দিষ্ট মানের হয়। বাহির হইতে টান প্রয়োগে এই দূরত্ব বাড়াইলে অণুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি প্রতিরোধ করে। চাপপ্রয়োগে দূরত্ব কমাইলে, বিকর্ষণ দৈর্ঘ্যহ্রাস প্রতিরোধ করে।

(খ) চাপের ততি ও পীড়ন (Compressive strain and stress)। 2·3 চিত্রের F, F বল দুইটি টান না হইয়া চাপ হইলে তারের দৈর্ঘ্য কমিবে। আগের মত l দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হইলে l/L-কে বলা হইবে **চাপের ততি** বা **বিকারাংক (Compressive strain)** এবং F/a-কে ধরা হইবে **চাপের পীড়নাংক (Compressive stress)।** অভ্যন্তরীণ বলের ক্রিয়া এখানেও আগের মতন, কিন্তু উহাদের ক্রিয়ামুখ আগের বিপরীত।

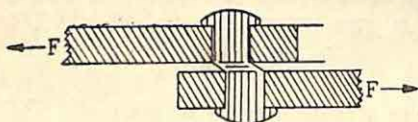
(গ) কৃন্তনের ততি ও পীড়ন (Shear strain and shear stress)। দুই হাতের মধ্যে একখানা মোটা বই নিয়া মলাটের সমতলে বাঁধান দিকের আড়াআড়ি একহাতে ঠেলা দিলে বইয়ের পাতাগুলি একে অন্যের উপর দিয়া একটু করিয়া সরে। বইয়ের পাশের দিকে তাকাইলে দেখা যাইবে আগে যাহা দেখিতে আয়তক্ষেত্র ছিল, তাহা ঠেলার পর সামান্তরিকের মত হইয়াছে। একজোড়া তাস নিয়াও এরূপ করিয়া দেখা যায়। এক্ষেত্রে স্পার্শক বলের (tangential force-এর) প্রয়োগে বস্তুর বিভিন্ন তল বলের সমান্তরালে একটু করিয়া সরে, কিন্তু বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন হয় না।

আয়তাকার কোন বস্তুর (2·4 চিত্রে ABCD-র) একতল (Q) স্থির রাখিয়া তাহার বিপরীত তল (P)-এর সমতলে এক কিনারা (BC)-র সমান্তরালে স্পার্শক বল

(F) প্রয়োগ করিলে বস্তুটির আকারের পরিবর্তন হইবে, কিন্তু আয়তন বদলাইবে না। বস্তুর যে ABCD তল আগে আয়তাকার ছিল, তাহা সামান্তরিকে পরিণত হইবে। এরূপক্ষেত্রে আমরা বলি বস্তুটির **কৃন্তন (shear)** ঘটিয়াছে। বস্তুর উপরের তল BB′ পরিমাণ সরিয়া থাকিলে, BB′/AB অনুপাতকে **কৃন্তনের ততি** বলিয়া ধরা হয়।

চিত্র 2·4

কৃন্তন বল F প্রয়োগে উহার অভিলম্ব কোন রেখা (AB) θ-কোণে হেলিয়া গেলে θ-কে **কৃন্তন কোণ (Angle of shear)** বলে। θ খুব ছোট হইলে $\theta = BB'/AB$ ধরা হয়। **কৃন্তন কোণের ট্যানজেণ্ট কৃন্তনের তভি (আপেক্ষিক বিকার বা বিকারাংক)।**

BB′/AB অনুপাতে AB = 1 হইলে কৃন্তনের তভি = BB′ হয়। এই কারণে কৃন্তন বলের অভিলম্বে একক দূরত্বে অবস্থিত দুইতলের আপেক্ষিক স্থানচ্যুতিকেও **কৃন্তনের তভি** বা **বিকারাংক (Shearing strain)** বলে।

কৃন্তনের সমান্তরালে বস্তুর কোন ছেদ ধরিলে, ছেদের একদিকের অংশ অন্যদিকের অংশের উপরে ছেদতলে স্পার্শক বল প্রয়োগ করে। দুই অংশের উপর এই বল সমান ও বিপরীতমুখী, এবং সাম্য অবস্থায় ইহারা প্রযুক্ত বলের সমান। অতএব ছেদের ক্ষেত্রফল S এবং প্রযুক্ত বল F হইলে প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ বলের মান F/S-ই **কৃন্তনের পীড়নাংক (Shearing stress)**।

চিত্র 2·5

রিভেট দিয়া আঁটা দুখানা পাতকে বিপরীতদিকে টানিলে (2·5 চিত্র) রিভেটে কৃন্তন প্রযুক্ত হয়। রিভেটের দুইপ্রান্ত টানিলে উহাতে টান প্রয়োগ হয়। কাঁচির সাহায্যে কিছু কাটিবার সময় কাঁচি উহাতে কৃন্তন প্রয়োগ করে।

2-3. বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাংক (Different elastic moduli)। সমসত্ব (homogeneous), সমদৈশিক (isotropic ; যাহার ধর্ম সকল দিকে একই) পদার্থের স্থিতিস্থাপক আচরণ বিচারে চারটি রাশি বিশেষ মূল্যবান। ইহাদের তিনটি স্থিতিস্থাপক গুণাংক ও অন্যটি দুই তভির অনুপাত। ইহাদের নাম-(১) ইয়ংএর

গুণাংক (Young's modulus), (২) পোয়াসঁর অনুপাত (Poisson's ratio), (৩) আয়তন বিকার গুণাংক (Bulk modulus) এবং (৪) কৃন্তন গুণাংক (Shear modulus বা Modulus of rigidity)।

একক। পীড়নাংক সকল ক্ষেত্রেই একক বর্গক্ষেত্রে প্রযুক্ত বল দিয়া নিরূপিত হয়। উহার একক 'বলের একক/বর্গক্ষেত্রের একক'। ততি বা বিকারাংক সকল ক্ষেত্রেই সংখ্যা মাত্র। কাজেই (১), (২) ও (৪) গুণাংক তিনটি সিজিএস্ এককে dyn/cm² দিয়া প্রকাশ করা যাইবে। পোয়াসঁর অনুপাত দুইটি তিতির অনুপাত বলিয়া উহা সংখ্যামাত্র।

(১) ইয়ংএর গুণাংক (Young's modulus)। কোন বস্তুতে টান প্রয়োগ করিলে উহা টানের দিকে দৈর্ঘ্যে বাড়ে ও টানের অভিলম্বে (প্রস্থে) একটু সংকুচিত হয়। এই সংকোচনে কোন বাধা না থাকিলে টানের পীড়নাংক ও বিকারাংকের অনুপাতকে **ইয়ংএর গুণাংক** বলে। টানের বদলে চাপ প্রয়োগ করিলে চাপের দিকে বস্তুর দৈর্ঘ্য কমে ও তাহার অভিলম্বে (প্রস্থে) একটু বাড়ে। অভিলম্বে (প্রস্থে) বৃদ্ধির কোন বাধা না থাকিলে এখানেও চাপের পীড়নাংক ও বিকারাংকের অনুপাতকে একই নাম দেওয়া হয়। বস্তুর দৈর্ঘ্য L, প্রস্থচ্ছেদ S প্রযুক্ত বল F ও দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি বা হ্রাস l হইলে,

$$\text{ইয়ংএর গুণাংক} * \; E = \frac{\text{পীড়নাংক}}{\text{বিকারাংক}} = \frac{F/S}{l/L} \qquad (2\text{-}3.1)$$

প্রশ্ন। (1) 2 m লম্বা 1 mm ব্যাসের লোহার একগাছা তারে 8 kg টান প্রয়োগ করিলে উহা 1 mm বাড়ে। বিকারাংক, পীড়নাংক ও ইয়ং গুণাংক কত?

[সমাধান—টান = 8 kg-wt = 8000 × 980 dyn। তারের ছেদের ক্ষেত্রফল $\pi r^2 = \pi \times (0{\cdot}1/2)^2 = 3{\cdot}142 \times 0{\cdot}0025 \text{ cm}^2$।

$$\therefore \; \text{পীড়নাংক} = \frac{8000 \times 980 \text{ dyn}}{3{\cdot}142 \times 0{\cdot}0025 \text{ cm}^2} = 9{\cdot}984 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2 \text{।}$$

মূল দৈর্ঘ্য $L = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$। দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $= 1 \text{ mm} = 0{\cdot}1 \text{ cm}$।

$$\therefore \; \text{বিকারাংক} = 0{\cdot}1 \text{ cm}/200 \text{ cm} = 5 \times 10^{-4} \text{।}$$

$$\text{ইয়ং গুণাংক} = \frac{\text{পীড়নাংক}}{\text{বিকারাংক}} = \frac{9{\cdot}984 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2}{5 \times 10^{-4}} = 1{\cdot}997 \times 10^{12} \text{ dyn/cm}^2 \text{।}$$

(2) 7 m লম্বা ও 1 mm ব্যাসের একগাছা ইস্পাতের তারে 30 kg টান প্রয়োগ করিলে উহা 1·21 cm বাড়ে। বিকারাংক, পীড়নাংক ও ইয়ং গুণাংক কত?

[উঃ 0·00173 ; 38·2 kg-wt/mm² বা $3{\cdot}74 \times 10^9$ dyn/cm² ; $2{\cdot}21 \times 10^6$ kg-wt/cm² বা $2{\cdot}16 \times 10^{12}$ dyn/cm²। পীড়নাংক বা গুণাংক যে অন্য এককেও প্রকাশ করা যায় তাহা দেখান হইল।]

(২) পোয়াসঁর অনুপাত (Poisson's ratio)। টান বা চাপে দৈর্ঘ্যের যেমন বিকার হয় প্রস্থেরও তেমন হয়, একথা আগে বলা হইয়াছে। টান বা চাপে প্রস্থ

---

* ইয়ং গুণাংক E দিয়া প্রকাশিত হইবে ইহাই বর্তমান আন্তর্জাতিক রীতি।

পরিবর্তনে বাধা না থাকিলে প্রস্থের বিকারাংকের সঙ্গে দৈর্ঘ্যের বিকারাংকের অনুপাতকে **পোয়াসঁর অনুপাত** বলে। প্রস্থ B, প্রস্থহ্রাস b, দৈর্ঘ্য L এবং দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l হইলে, প্রস্থের বিকারাংক b/B এবং দৈর্ঘ্যের বিকারাংক l/L। অতএব σ (গ্রীক অক্ষর, উচ্চারণ sigma) পোয়াসঁর অনুপাত সূচিত করিলে

$$\sigma = \text{প্রস্থের বিকারাংক/দৈর্ঘ্যের বিকারাংক} = (b/B)\,/\,(l/L) \qquad (2\text{-}3.2)$$

প্রশ্ন। অ্যালুমিনিয়ামের একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য 2 m এবং ব্যাস 20 cm। 70 kg ভারে দৈর্ঘ্য 10^6 ভাগে 30 ভাগ বাড়ে। অ্যালুমিনিয়ামে পোয়াসঁর অনুপাত 0·33 হইলে, ঐ ভারে প্রস্থ কতটুকু কমিবে?

[এখানে $l/L = 30/10^6$, $B = 20$ cm। অতএব $b = \sigma(l/L) \times B = 0{\cdot}33 \times 3 \times 10^{-5} \times 20$ cm $= 2 \times 10^{-4}$ cm।]

(৩) আয়তনবিকার গুণাংক (Bulk modulus)। কোন বস্তুর উপর সবদিক হইতে সমান চাপ (প্রেষ; Pressure) দিলে উহার আয়তন কমে। p প্রেষবৃদ্ধিতে আয়তন হ্রাস v ও হ্রাসের আগের আয়তন V হইলে, পীড়নাংক $= p$ (প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে প্রযুক্ত চাপ) এবং বিকারাংক $- v/V$। এই পীড়নাংক ও বিকারাংকের অনুপাতকে আয়তনবিকার গুণাংক বলে।

$$\text{আয়তনবিকার গুণাংক } K = -p\,/\,(v/V) \qquad (2\text{-}3.3)$$

(p বাড়িলে v কমে। নিগেটিভ চিহ্নে উহাদের এই সম্পর্ক বুঝায়।) K-র বিপরীত রাশি $1/K = C$-কে 'সংনম্যতা' (Compressibility) বলে।

প্রশ্ন। 10 kg ভার চাপে এক লিটার গ্লিসারিনের আয়তন 0·21 cm^3 কমে। গ্লিসারিনের আয়তনবিকার গুণাংক কত?

[এখানে $p = 10$ kg-wt/cm^2, $V = 1\ l$, এবং $v = 0{\cdot}21$ cm^3।
অতএব $K = 10$ kg-wt/cm^2 / (0·21cm^3/1000 cm^3) $= 4{\cdot}76 \times 10^4$ kg-wt/ cm^2 বা $4{\cdot}66 \times 10^{10}$ dyn/cm^2.]

(৪) কৃন্তন গুণাংক (Modulus of rigidity বা Shear modulus)। S বর্গক্ষেত্রের তলে সুষম ভাবে ছড়াইয়া F স্পার্শক বল প্রয়োগ করিলে পীড়নাংকের মান F/S হইবে। ইহাতে কৃন্তন কোণ θ রেডিয়ান হইলে পীড়নাংক $\tan\theta$। θ খুব ছোট হইলে $\tan\theta = \theta$ লেখা যায়।

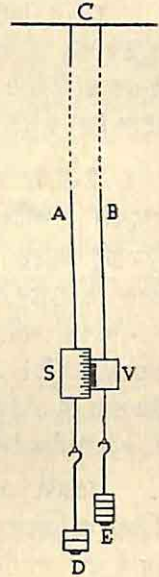
$$\text{কৃন্তন গুণাংক}^{*}\ G = (F/S)\,/\tan\theta \qquad (2\text{-}3.4)$$

প্রশ্ন। 5 cm বাহুবিশিষ্ট অ্যালুমিনিয়ামের একটি ঘনকের বিপরীত তলে সমান ও বিপরীত স্পার্শক বল প্রয়োগ করা হইল। বল কত হইলে কৃন্তন কোণ 0·01° হইবে? অ্যালুমিনিয়ামের কৃন্তন গুণাংক 7×10^{11} dyn/cm^2।

[সংকেত—কৃন্তন কোণ রেডিয়ানে প্রকাশ কর। 180°-তে π রেডিয়ান। অতএব এখানে $\theta = (0{\cdot}01/180)\ \pi$ রেডিয়ান। $G = 7 \times 10^{11}$ dyn/cm^2; $S = 5$ cm $\times$ 5 cm $= 25$ cm^2। 2-3.4 সমীকরণের সাহায্যে F বাহির কর।]

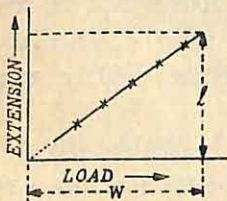
---

* কৃন্তন গুণাংক G দিয়া প্রকাশিত হইবে ইহাই বর্তমান আন্তর্জাতিক রীতি।

2-4. ইয়ং গুণাংক নির্ণয়। E বাহির করিবার নানা উপায় আছে। আমরা সহজ একটি উপায় বর্ণনা করিব। ইহাতে পরীক্ষণীয় পদার্থের দুইগাছা প্রায় সমান দৈর্ঘ্যের তার লাগে। উভয় তার একই আড়া হইতে পাশাপাশি ঝুলান হয় (2·6 চিত্র)। এক গাছায় জানা ওজন ঝুলাইয়া উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি মাপিতে হয়। আড়ার নমন (bending) বা ঘরের উষ্ণতার তারতম্যে দৈর্ঘ্য পরিবর্তন ঘটিতে পারে। ইহা এড়াইবার জন্য দ্বিতীয় তারগাছা দরকার। পাশাপাশি থাকায় উভয়ের একই পরিবর্তন হয়। দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি কম বলিয়া উহা মাপিবার জন্য ভার্নিয়ার, মাইক্রোমিটার স্ক্রু বা অপটিক্যাল লিভার (optical lever) ব্যবহার করা হয়। ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞানের (Practical physics-এর) যে কোন বইয়ে ইহার বিশদ বিবরণ আছে। বিভিন্ন ওজনে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি মাপিয়া ওজন-দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির গ্রাফ হইতে E বাহির করা হয়। W ওজনে L দৈর্ঘ্যের তারের বৃদ্ধি l হইলে, এবং তারের ব্যাসার্ধ r হইলে পীড়নাংক $= Wg/\pi r^2$ ও বিকারাংক l/L। $E = (Wg/\pi r^2) / (l/L)$।

চিত্র 2·6

প্রয়োজন মত ভার ঝুলাইয়া উভয় তারই টান টান রাখা হয়। এই ওজন হিসাবে ধরা হয় না। 2·6 চিত্রের B পরীক্ষণীয় তার হইলে A সাপেক্ষে উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি মাপা হয়। 2·7 চিত্রে ওজন-দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির গ্রাফ দেখান হইয়াছে। গ্রাফ সরলরেখা এবং উহা মূলবিন্দু দিয়া যাইবে।

2-4.1. হুকের সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় (Verificatiom of Hooke's law)। 2·6 চিত্রে দেখান ব্যবস্থায়ই হুকের সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় করা যায়। B তারে ওজন ক্রমশ বাড়াইয়া যাও। প্রত্যেক ভারে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি কত হইল তাহা দেখিয়া 2·7 চিত্রের মত গ্রাফ আঁক। বেশী ওজনে গ্রাফ যখন বাঁকিতে শুরু করিবে, বুঝিবে তখন তুমি স্থিতিস্থাপকতার সীমা ছাড়াইয়াছ। গ্রাফ বাঁকিবার আগ পর্যন্ত অংশে হুক সূত্র সত্য অর্থাৎ ততি পীড়নের সমানুপাতিক।

2-5. বিবিধ। বল প্রয়োগে বস্তুর বিকার (deformation) কিরূপ হইবে তাহা বলের প্রয়োগ বিধি এবং বস্তুর পদার্থ এই দুইএর উপর নির্ভর করে। একটি সরল দণ্ডের দুই প্রান্ত আটকাইয়া বা ঠেকা দিয়া উহাকে অনুভূমিক রাখিয়া দণ্ডের মাঝখানে যদি ভার ঝুলান যায়, তবে দণ্ডটি দাবিবে। দাবার পরিমাণ বলের আনুপাতিক। দাবার পরিমাণ (depression) ইয়ং গুণাংকের সাহায্যে হিসাব করা যায়। দণ্ডের খাড়াই বেশী হইলে উহা কম দাবে।

চিত্র 2·7

এক খণ্ড তারের একপ্রান্ত আটকাইয়া অন্য প্রান্তে

মোচড় (twist) দিলে তার পাক খায়। মোচড়ের জন্য দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিতে হয়। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে মোচড়ান প্রান্তের কৌণিক বিচ্যুতি প্রযুক্ত দ্বন্দ্বের আনুপাতিক। মোচড়ের পরিমাণ কৃন্তনগুণাংক G-র সাহায্যে হিসাব করা যায়।

সর্পিল (helical) স্প্রিংএর অক্ষ বরাবর টান দিলে স্প্রিং দৈর্ঘ্যে বাড়ে। এক্ষেত্রেও স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি প্রযুক্তবলের আনুপাতিক। এখানে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হিসাব করিতে E ও G উভয়ের দরকার হয়। স্প্রিংতুলায় দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি বলের আনুপাতিক হইবে ইহা রবার্ট হুকই আবিষ্কার করেন।

2-5.1. কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে স্থিতিস্থাপকতার ভিত্তিতে প্রভেদ। কঠিন পদার্থের ইয়ং গুণাংক, আয়তনবিকার গুণাংক এবং কৃন্তন গুণাংক-তিনটিই আছে। তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের কেবল আয়তনবিকার গুণাংক আছে। তরলে ও গ্যাসে প্রভেদ হইল তরলের আয়তনবিকার গুণাংক গ্যাসের গুণাংকের চেয়ে অনেক বড়, অর্থাৎ গ্যাসের সংনম্যতা (Compressibility $=1/K$) তরলের তুলনায় অনেক বেশী। জলের আয়তনবিকার গুণাংক $K=0{\cdot}2\times10^{11}$ dyn/cm². স্থির উষ্ণতায় যে কোন গ্যাসের K উহার চাপের সমান। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় বায়ুর $K=1{\cdot}013\times10^{6}$ dyn/cm²।

তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ স্পার্শক বলের (tangential force-এর) ক্রিয়া প্রতিরোধ করিতে পারে না—ইহা উহাদের মৌলিক ধর্ম। তরল বা গ্যাস কণা স্পার্শক বলের ক্রিয়ায় সরিয়াই চলে। কিন্তু কঠিন পদার্থে স্পার্শক বলের ক্রিয়ায় কণা একটু সরাতেই প্রতিরোধী বল সক্রিয় হয় এবং কণা একটু সরিয়া সাম্যে থাকে।

অনুশীলনী

1. স্থিতিস্থাপকতা, ততি ও পীড়ন কাহাদের বলে? স্থিতিস্থাপক সীমা এবং হুকের সূত্র বলিতে কি বুঝায়? পীড়নাংক ও বিকারাংকের সংজ্ঞা দাও। স্থিতিস্থাপক গুণাংক কি?

2. টান, চাপ ও কৃন্তনের বিকারাংক ও পীড়নাংক কাহাদের বলে বুঝাও। ইয়ং গুণাংক, আয়তনবিকার গুণাংক ও কৃন্তন গুণাংকের সংজ্ঞা দাও। এই তিনটি গুণাংকের ভিত্তিতে কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের প্রভেদ বুঝাও।

3. পোয়াসঁর অনুপাত কাহাকে বলে? ইহা কি এককে প্রকাশিত হয়? বিকারাংক ও পীড়নাংকের একক কি? স্থিতিস্থাপক গুণাংকগুলি কি প্রকার এককে প্রকাশ করা যায়?

4. 2 m লম্বা 0·5 mm ব্যাসের একগাছা তামার তারে 10 kg ওজনের টান দিলে উহা লম্বায় 2·38 mm বাড়ে। তামার ইয়ং গুণাংক কত? [উঃ $4{\cdot}28\times10^{6}$ kg-wt/cm²]

5. 5 m লম্বা একগাছা তারে 10 kg ওজন ঝুলাইলে উহার বিকারাংক হয় 0·1%। তারের প্রস্থচ্ছেদ 1 mm² হইলে উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি, পীড়নাংক ও ইয়ং গুণাংক কত?

[উঃ 5 mm ; $9{\cdot}8\times10^{8}$ dyn/cm² ; $9{\cdot}8\times10^{11}$ dyn/cm²]

6. 600·5 cm লম্বা, 1 mm² প্রস্থচ্ছেদের একগাছা তারে 20 kg ভার ঝুলান আছে। ভার সরাইয়া নিলে তারের দৈর্ঘ্য 5 mm কমে। তারের পদার্থের ইয়ং গুণাংক কত?

[উঃ $2{\cdot}35\times10^{12}$ dyn/cm²]

7. (ক) দুই প্রান্তে ঠেকা দেওয়া অনুভূমিক একখানা তক্তার মাঝখানে 5 kg ভার রাখিলে উহা 2 cm দাবে। 7·5 kg ভারে উহা কত দাবিবে? 3·5 cm দাবাইতে কত কেজি ভারের দরকার হইবে? [উ: 3 cm; 8·75 kg-wt]

(খ) একগাছা ঝুলান তারের নিচের প্রান্তে 1000 dyn cm টর্ক প্রয়োগ করিলে উহা 90° ঘোরে। এক রেডিয়ান মোচড় দিতে কত টর্কের দরকার হইবে? [উ: $2000/\pi$ dyn cm]

(গ) 2 kg ভারে একগাছা স্প্রিং লম্বায় 2·5 cm বাড়ে। 1·5 kg ভারে উহা দৈর্ঘ্যে কত বাড়িবে? দৈর্ঘ্য 1·75 cm বাড়াইতে কত kg ভার লাগিবে? [উ: 1·875 cm; 1·4 kg]

8. 250 cm লম্বা 2·5 cm ব্যাসার্ধের একটি দণ্ডের ইয়ং গুণাংক 2×10^{12} dyn/cm² এবং পোয়াসঁ অনুপাত 0·3। 1000 kg ভারে ব্যাসের বিকারাংক কত হইবে? [উ: $1{\cdot}47\times10^{-4}$]

9. 200 cm³ বায়ু 760 মিলিমিটার পারার চাপে (760 mmHg) আছে। চাপ 1 mmHg বাড়িলে এবং উষ্ণতা স্থির থাকিলে আয়তন 0·263 cm³ কমে। বায়ুর আয়তনবিকার গুণাংক কত? [উ: 760 mmHg]

10. কোন ধাতুদণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক $1{\cdot}2\times10^{-5}/C^\circ$ (তাপতত্ত্বের দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ দেখ)। উহার উষ্ণতা 10 C° বাড়ান হইল। উহার ইয়ং গুণাংক $E=2{\cdot}0\times10^{-12}$ dyn/cm² হইলে তাপবৃদ্ধির জন্য প্রসারণ বন্ধ করিতে দণ্ডে অনুদৈর্ঘ্য কত চাপ দিতে হইবে?

[সংকেত—দৈর্ঘ্যপ্রসারণ $l=L\,\alpha\,t=L\times1{\cdot}2\times10^{-5}/C^\circ\times10C^\circ$ (L=cm এককে দণ্ডের দৈর্ঘ্য)। চাপ বাড়াইয়া এই দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি রোধ করিতে হইলে $E=(F/S)\,/\,(l/L)$ (2-3.1 সমীকরণ) অনুসারে F বল প্রয়োগ করিতে হইবে। S দণ্ডের প্রস্থচ্ছেদ, L উহার দৈর্ঘ্য এবং l উহার দৈর্ঘ্যপ্রসারণ$=L\,\alpha\,t$। উ: $2{\cdot}4\times10^{8}$ dyn।]

৩ উদস্থিতিবিদ্যা
(Hydrostatics)

3-1. ঘনত্ব (Density)। কোন পদার্থের **ঘনত্ব** (বা **ঘনাংক**) বলিতে উহার একক আয়তনের (unit volume-এর) ভর বুঝায়। বিভিন্ন পদ্ধতিতে আয়তন ও ভরের একক বিভিন্ন হওয়ায়, এককের পদ্ধতি অনুসারে একই পদার্থের ঘনত্বের মান বিভিন্ন হইবে। সিজিএস্ পদ্ধতিতে আয়তনের একক $1 cm^3$ ও ভরের একক 1g। অতএব সিজিএস্ পদ্ধতিতে কোন পদার্থের ঘনত্ব বলিতে $1 cm^3$ আয়তনের ঐ পদার্থের ভর কত গ্রাম তাহা বুঝাইবে।

কঠিন ও তরল পদার্থের ঘনত্ব উষ্ণতার উপর নির্ভর করে ; তবে পরিবর্তন খুব বেশী নয়। গ্যাসের ঘনত্ব উষ্ণতা ও চাপের উপর নির্ভর করে। চাপের সঙ্গে গ্যাসের ঘনত্ব মোটামুটি সমানুপাতিক, অর্থাৎ চাপ দ্বিগুণ হইলে ঘনত্বও দ্বিগুণ হয়। এ জন্য, গ্যাসের ঘনত্বের উল্লেখে চাপ ও উষ্ণতা দুইই বলা দরকার। কঠিন ও তরলে চাপের প্রভাব উপেক্ষণীয় বলিয়া সাধারণত উষ্ণতা বলিলেই যথেষ্ট। নিচে সিজিএস্ এককে কয়েকটি পদার্থের ঘনত্বের মান দেওয়া হইল ; উষ্ণতা 20°C।

সারণী—g/cm^3 এককে 20°C উষ্ণতায় কয়েকটি পদার্থের ঘনত্ব

পদার্থ	ঘনত্ব	পদার্থ	ঘনত্ব
পিতল	8·4 হইতে 8·7	অ্যালকোহল (ইথাইল)	0·792
তামা	8·93	গ্লিসারিন	1·26
কর্ক	0·22 হইতে 0·26	কেরোসিন	0·80
সোনা	19·32	পারা	13·6
কাচ (ক্রাউন)	2·5 হইতে 2·7	দুধ	1·03
লোহা	7·0 হইতে 7·9	প্যারাফিন তেল	0·8
মার্বেল	2·5 হইতে 2·8	সমুদ্রের জল	1·01 হইতে 1·05
প্যারাফিন	0·87 হইতে 0·93	তার্পিন তেল	0·87
বালি	2·63		
চিনি	1·59		

'কাঠের চেয়ে লোহা ভারী', বা অনুরূপ কোন উক্তিতে আমরা বুঝি সমান আয়তন দুই পদার্থের কোন্‌টিতে ভর বেশী, অর্থাৎ ঘনত্ব কাহার বেশী। এক টুকরা লোহার চেয়ে একখণ্ড কাঠ ওজনে বেশী হইতে পারে ; কিন্তু কাঠের চেয়ে লোহা ভারী বলায় আমরা উভয়ের সমান আয়তনের কথাই ভাবিয়াছি। ঘনত্ব কথাটি ব্যবহারে অর্থ আরও পরিষ্কার হয়।

3-2. আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific gravity)। বিভিন্ন পদার্থের ঘনত্ব বিভিন্ন এককে প্রকাশিত থাকিলে, কোন্‌টি বেশী ভারী তাহা খানিকটা হিসাব না করিয়া বলা যায় না। ধর, বলা হইল পাথরের ঘনত্ব 156 lb/ft³, লোহার ঘনত্ব 2·8 lb/in³ ও পিতলের ঘনত্ব 8·4 g/cm³। সংখ্যাগুলি দেখিয়াই বলা চলে না পাথরের চেয়ে লোহা ভারী, এবং লোহার চেয়ে পিতল ভারী। তুলনার দরকার হইলে ঘনত্বের বদলে 'আপেক্ষিক গুরুত্ব' জানা বেশী সুবিধার।

কোন পদার্থের **আপেক্ষিক গুরুত্ব** বলিতে উহার নির্দিষ্ট কোন আয়তনের ভর (বা ভার) সমান আয়তন কোন বিশুদ্ধ, সহজলভ্য 'মানক' (standard) পদার্থের ভরের (বা ভারের) তুলনায় কতগুণ বেশী সেই সংখ্যা বুঝায়। কঠিন বা তরলের ক্ষেত্রে 4°C উষ্ণতার বিশুদ্ধ জলকে এই মানক পদার্থ ধরা হয়। গ্যাসের ক্ষেত্রে মানক পদার্থ এক বায়ুমণ্ডল চাপ ও ও 0°C উষ্ণতার হাইড্রোজেন অথবা বায়ু।

জলের ঘনত্ব উষ্ণতা পরিবর্তনে খুব বেশী বদলায় না। আমাদের দেশে খুব গরমে উষ্ণতা যদি 40°C ধরি তবে এই উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব 0·992 g/cm³। 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব ঠিক 1·000 g/cm³। দেখা গেল, খুব গরমেও আমাদের দেশে জলের ঘনত্ব হাজার ভাগে আট ভাগের বেশী কমে না। মাপনের ত্রুটি 1% এর কম না হইলে জলের ঘনত্ব পরিবর্তন উপেক্ষা করিয়া লেখা যায়

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{V \text{ আয়তন পদার্থের ভর (বা ভার)}}{\text{সম-আয়তন জলের ভর (বা ভার)}}\text{।}$$

লক্ষ্য কর, আপেক্ষিক গুরুত্ব দুই ভর বা দুই ভারের অনুপাত। অতএব উহা **সংখ্যামাত্র**; আপেক্ষিক গুরুত্ব প্রকাশ করিতে কোন এককের দরকার হয় না। ঘনত্বের একক ভর/আয়তন।

V আয়তন পদার্থের ভর m হইলে উহার ঘনত্ব ρ (গ্রীক অক্ষর ; উচ্চারণ 'রো') $=m/V$। সমআয়তন জলের ভর m' হইলে জলের ঘনত্ব $\rho'=m'/V$। অতএব

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{m}{m'} = \frac{m/V}{m'/V} = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}} \qquad (3\text{-}2.1)$$

ইহা হইতে দেখা যায় আপেক্ষিক গুরুত্ব দুই ঘনত্বের অনুপাত। জলের ঘনত্বের তুলনায় কোন তরল বা কঠিনের ঘনত্ব যতগুণ তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব। এই কারণে আপেক্ষিক গুরুত্বকে 'আপেক্ষিক ঘনত্ব' (Relative density) বলা চলে, এবং তাহা বলাই বেশী অর্থবহ।

সিজিএস্ এককে জলের ঘনত্ব 1 g/cm³ বা 1 kg/l। অতএব এই পদ্ধতিতে, কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব উহার ঘনত্ব g/cm³ বা kg/l এককে প্রকাশ করিতে যে সংখ্যার দরকার হয় সেই সংখ্যার সমান। লোহার ঘনত্ব 7·7g/cm³। অতএব লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·7। পিতলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 8·4 হইলে উহার ঘনত্ব

$8{\cdot}4\ g/cm^3$ বা $8{\cdot}4\ kg/l$। 3-1 বিভাগের ঘনত্বের সারণিতে সংখ্যাগুলি আপেক্ষিক গুরুত্বও বটে।

[এফ্‌পিএস্ পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব $62{\cdot}4\ lb/ft^3$ ধরা হয়]

3-3. আর্কিমিডিসের তত্ত্ব। যে স্বর্ণকারকে রাজা হীয়েরো সোনার মুকুট বানাইতে দেন সে রাজাকে ঠকাইয়াছে, রাজার এই সন্দেহ হয়। সন্দেহ যথার্থ কি না তাহা যাচাই করার ভার রাজা তৎকালীন শ্রেষ্ঠ গ্রীক দার্শনিক, গণিতজ্ঞ ও বৈজ্ঞানিক আর্কিমিডিসের উপর ন্যস্ত করেন। আর্কিমিডিস সম্বন্ধে এ কাহিনী তোমরা সকলেই বোধ হয় জান। প্রশ্নের উত্তর খুঁজিতে গিয়া আর্কিমিডিস প্রত্যক্ষ অভিজ্ঞতা ও গভীর চিন্তার ফলে এই সিদ্ধান্তে আসেন যে কোন বস্তুকে জলে ডুবাইলে স্থানচ্যুত জল বস্তুটির উপর নিজের ওজনের সমান ঊর্ধ্বচাপ দেয়।

বর্তমানে আর্কিমিডিসের সিদ্ধান্ত বা তত্ত্ব নিচের মত প্রকাশ করা হয়ঃ

কোন বস্তুকে তরলে অংশতঃ বা পূর্ণতঃ ডুবাইলে উহার ওজন খানিকটা কম বলিয়া মনে হয়। বস্তুটি যে ওজনের তরল স্থানচ্যুত করে, বস্তুর ওজন আপাত ততটাই কমে।

ধরা যাক, বায়ুতে বস্তুর ওজন $= W$ গ্রাম ও কোন তরলে উহার ওজন $= w$ গ্রাম।

তাহা হইলে বস্তুর আপাত ওজনহ্রাস $= (W - w)$ গ্রাম।

আর্কিমিডিসের তত্ত্ব অনুসারে স্থানচ্যুত তরলের ওজন $= (W - w)$ গ্রাম।

তরলে কোন বস্তু ডুবাইলে তরল বস্তুটির উপর খাড়া উপরের দিকে ঠেলা দেয়। এই ঠেলাকে **ঊর্ধ্ববল (upthrust)** বলে; ইহা স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান। নিমজ্জিত বস্তুর আপাত ওজনহ্রাস এই ঊর্ধ্ববলের জন্য হয়। জলের মধ্যে একখানা ইট হাতের উপর রাখিতে বিশেষ বলের দরকার হয় না; কিন্তু জলের বাহিরে ইটখানা হাতে রাখিতে বেশ জোর লাগে। জলে ডুবান ইটে জল ঊর্ধ্ববল প্রয়োগ করে বলিয়া উহা ধরিয়া রাখিতে কম বলের দরকার হয়।

তরলে নিমজ্জিত বস্তুর আপাত ওজনহ্রাসরূপ ঘটনাকে **প্লবতা (Buoyancy)** বলে। প্লবতার বল (Force of buoyancy)-ই ঊর্ধ্ববল। উহা স্থানচ্যুত তরলের ভারকেন্দ্র দিয়া উপরের দিকে ক্রিয়া করে।

আর্কিমিডিসের তত্ত্ব কেবল তরলেই প্রযোজ্য নয়; গ্যাসেও উহা প্রযোজ্য। হাইড্রোজেন বা হিলিয়াম গ্যাসভরা বেলুন উপরে ওঠে। ইহা বেলুনের উপর বায়ুর ঊর্ধ্ববলের জন্য হয়।

তরল ও গ্যাস উভয়েই প্রবাহিত হয় বলিয়া 'প্রবাহী' (Fluid) কথাটি দিয়া উভয়কেই বুঝান হয়। আর্কিমিডিসের তত্ত্ব নিচের মত করিয়াও বলা যায়ঃ

কোন প্রবাহীতে নিমজ্জিত বস্তুর উপর স্থানচ্যুত প্রবাহীর ওজনের সমান ঊর্ধ্ববল প্রযুক্ত হয়।

3-3.1. আর্কিমিডিস তত্ত্বের যাথার্থ্য নির্ণয় (To verify Archimedes' principle)। একটি খুব সরল গঠনের যন্ত্রের সাহায্যে পূর্ণ নিমজ্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে আর্কিমিডিস তত্ত্বের সত্যতা সহজেই প্রমাণ করা যায়। ইহার জন্য দুটি বেলন, A ও B (3·1 চিত্র), দরকার। B বেলন জলের চেয়ে ভারী এবং সবদিকে বন্ধ। উহা ফাঁপা বেলন A-র ভিতরে ঠিক আঁটে, অর্থাৎ B-র মোট আয়তন A-র ভিতরের আয়তনের ঠিক সমান। B-কে A-র ভিতর হইতে বাহির করিয়া A-র নিচে ঝুলাইয়া দেওয়া যায়। পরীক্ষার জন্য এই বেলন দুটি ছাড়া একটি তুলা (balance) দরকার। উহা স্প্রিং তুলা বা সাধারণ তুলাও হইতে পারে।

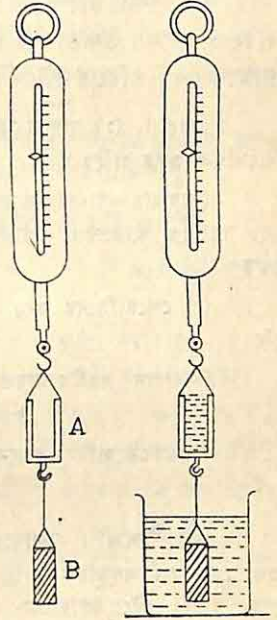
চিত্র 3·1

B-কে A হইতে বাহির করিয়া A-র নিচে ঝুলাইয়া তুলায় উহাদের একত্র ওজন নাও। (3·1 চিত্র)। তাহার পর B-র নিচে একটি জলভরা বীকার (beaker) আনিয়া B-কে জলে পুরাপুরি ডুবাও। এবার তুলায় দুই বেলনের আপাত ওজন দেখ। ইহা আগের ওজনের চেয়ে কম হইবে।

একটি পিপেট (pipette)-এর সাহায্যে A-কে আস্তে আস্তে জল দিয়া সম্পূর্ণ ভর। A যখন জলে ভরিয়া যাইবে তখন দেখিবে একেবারে প্রথমে A ও B-র যে ওজন পাওয়া গিয়াছিল, এখন আবার তাহাই পাওয়া যাইতেছে। ইহাতে প্রমাণিত হয় যে জলে B-র নিমজ্জনে ওজনের যে আপাত হ্রাস হইয়াছিল তাহা B-র সমান আয়তন জলের ওজনের সমান।

জলের বদলে অন্য যে কোন তরল লইয়া এই পরীক্ষা করা যায়। তবে তরলে B দ্রবণীয় হইলে বা তরলের সঙ্গে B-র রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটিলে অন্য এই ঘটনার জন্য তত্ত্বের যাথার্থ্য প্রমাণে বিঘ্ন ঘটে।

আংশিক ডুবান বস্তুর ক্ষেত্রে একই ভাবে পরীক্ষা করা সম্ভব। ইহার জন্য A ও B বেলন কাচের হওয়া দরকার, এবং B-কে সমান সমান কয়েক অংশে ভাগ করিয়া উহার গায়ে দাগ কাটা থাকা দরকার। A-র ভিতরের দিকেও ঠিক অনুরূপ দাগ কাটা থাকিবে। পরীক্ষার সময় B-র যতটা অংশ তরলে ডুবান হইবে, A-র ঠিক ততটা অংশ জলে ভরিতে হইবে।

3-3.2. আর্কিমিডিস তত্ত্বের সাহায্যে আয়তন নির্ণয়। বস্তুর আকার যে রকমই হউক না কেন, বায়ুতে উহার ওজন W গ্রাম ও জলে পুরাপুরি ডুবান অবস্থায় উহার ওজন w গ্রাম হইলে, স্থানচ্যুত জলের ওজন $(W-w)$ গ্রাম। সাধারণ কাজে এক গ্রাম জলের আয়তন আমরা 1 cm^3 ধরিতে পারি, ইহা তোমাদের জানা আছে। বস্তুটি তাহার সমান আয়তনের জল স্থানচ্যুত করিয়াছে। স্থানচ্যুত জলের ওজন

$(W-w)$ গ্রাম ও আয়তন $(W-w)$ cm^3। অতএব বস্তুটির আয়তনও $(W-w)$ cm^3।

খুব সূক্ষ্ম মাপের দরকার হইলে জলের আয়তন $(W-w)$ cm^3 না ধরিয়া, ব্যবহৃত জলের উষ্ণতায় (t°C) জলের ঘনত্ব ρ_t দিয়া ওজনের আপাত হ্রাস $(W-w)$ গ্রামকে ভাগ করিতে হইবে। t°C তে বস্তুর আয়তন $(W-w)/\rho_t$ cm^3 হইবে।

প্রশ্ন। (১) বায়ুতে কোন বস্তুর ওজন 20·52 g ও জলে 12·48 g। বস্তুটির আয়তন, ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির কর।

[সমাধান—স্থানচ্যুত জলের ওজন $20{\cdot}52-12{\cdot}48=8{\cdot}04$ g। এই জলের আয়তন 8·04 cm^3। ইহা বস্তুটিরও আয়তন। অতএব বস্তুটির ঘনত্ব $20{\cdot}52\ g/8{\cdot}04\ cm^3=2{\cdot}55\ g/cm^3$। আপেক্ষিক গুরুত্ব $=2{\cdot}55$.]

(২) কেরোসিনের ঘনত্ব 0·8 g/cm^3 হইলে, উপরের প্রশ্নের বস্তুটির কেরোসিনে কত ওজন হইবে ?

[সমাধান—বস্তুটির আয়তন $=8{\cdot}04\ cm^3$। স্থানচ্যুত কেরোসিনের ওজন

$$8{\cdot}04\ cm^3\times0{\cdot}8\ g/cm^3=6{\cdot}43\ g।$$

অতএব কেরোসিনে ওজনের আপাত হ্রাস $=6{\cdot}43$ g, এবং বস্তুটির আপাত ওজন

$$=20{\cdot}52-6{\cdot}43=14{\cdot}09\ g।]$$

অনুশীলনী। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্ত হইতে দুইটি আলাদা ধাতুর খণ্ড সম্পূর্ণ জলে ডুবাইয়া দেখা গেল দণ্ড অনুভূমিক আছে। একখণ্ড ধাতুর ওজন 32 g ও ঘনত্ব 8 g/cm^3। অন্য খণ্ডের ঘনত্ব 5 g/cm^3 হইলে উহার ওজন কত ? [উঃ 35 g]

3-3.3. এক তরল সাপেক্ষে আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা থাকিলে জল সাপেক্ষে উহা কত হইবে। ধরা যাক

বায়ুতে কোন বস্তুর ওজন $=W$ g
জলে উহার " $=w$ g
আলোচ্য তরলে উহার " $=w'$ g.

তরলের ঘনত্ব ρ' g/cm^3 হইলে জল সাপেক্ষে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব ρ'।

জল সাপেক্ষে বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব $(s)=W/(W-w)$
তরল সাপেক্ষে " " " $(s')=W/(W-w')$

বস্তুটির আয়তন $(W-w)$ cm^3। স্থানচ্যুত জলের ওজন $(W-w)$ গ্রাম ও সম আয়তন স্থানচ্যুত তরলের ওজন $(W-w')$ গ্রাম। অতএব তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $\rho'=(W-w')/(W-w)$।

$$\therefore\quad s=\frac{W}{W-w}=\frac{W}{W-w'}\times\frac{W-w'}{W-w}=s'\times\rho'$$

অর্থাৎ **জল সাপেক্ষে আপেক্ষিক গুরুত্ব = তরল সাপেক্ষে আপেক্ষিক গুরুত্ব × তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।**

প্রশ্ন। (১) কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 100 g, জলে ওজন 60 g। 0·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের কেরোসিনে উহার ওজন কত হইবে? কেরোসিন সাপেক্ষে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

[সমাধান—স্থানচ্যুত জলের ওজন $100-60=40$ g ও আয়তন 40 cm^3। স্থানচ্যুত কেরোসিনের আয়তন 40 cm^3 হইবে। ইহার ভর হইবে $40\times0{\cdot}8=32$ g। অতএব কেরোসিনে বস্তুটির ওজন $100-32=68$ g। কেরোসিন সাপেক্ষে বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব $=100/32=3{\cdot}125$।]

(২) কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 300 g ও 0·9 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে ওজন 270 g। জলে উহার ওজন কত? বস্তুটির আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্বই বা কত?

[সমাধান—বস্তুটির আয়তন = স্থানচ্যুত তরলের আয়তন $=(300-270)/0{\cdot}9=33{\cdot}3$ cm^3। জলে বস্তুটির ওজন হইবে $(300-33{\cdot}3)$ গ্রাম $=266{\cdot}7$ গ্রাম। আপেক্ষিক গুরুত্ব $=300/33{\cdot}3=9$।]

ঘনত্ব, আপেক্ষিক গুরুত্ব ও আর্কিমিডিস তত্ত্ব সংক্রান্ত অনুশীলনী

1. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বে প্রভেদ কি? আর্কিমিডিসের তত্ত্ব বলিতে কি বুঝায় তাহা বল। উহার সমর্থনে একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। উর্ধ্ববল কাহাকে বলে?

2. আর্কিমিডিস তত্ত্বের সাহায্যে কোন কঠিন বস্তুর আয়তন কি ভাবে বাহির করা যায়?

3. কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 50 g ও জলে ওজন 40 g। উহার আয়তন, ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? [উঃ 10 cm^3; 5 g/cm^3; 5]

1·25 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে বস্তুটির ওজন কত হইবে? [উঃ 37·5 g]

4. একখণ্ড ইটের ওজন 2·5 kg। উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·5। ইটের অর্ধেক জলে ডোবা থাকিলে উহার ওজন কত হইবে? [উঃ 1·67 kg]

[সংকেত—স্থানচ্যুত জলের আয়তন ও ওজন বাহির কর। এই ওজন ইটের উপর উর্ধ্ববলের সমান।]

5. উপরের প্রশ্নের ইটখানার অর্ধেক 3 g/cm^3 ঘনত্বের তরলে ডুবাইলে উহার আপাত ওজন কত হইবে? [উঃ 0]

6. একগাছা সুতা 2 kg পর্যন্ত ওজন সহ্য করিতে পারে। ঐ সুতা দিয়া জলের নীচে 2·5 kg ওজনের একখানা ইট ঝুলান আছে। সুতা টানিয়া ইট জলের বাহিরে আনিতে গেলে ইটের আয়তনের কত ভগ্নাংশ জলের বাহিরে আসিলে সুতাগাছা ছিঁড়িবে? ইটের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=1{\cdot}5$।

[সংকেত—x ভগ্নাংশ বাহিরে আসিলে যদি সুতা ছেঁড়ে, তাহা হইলে বাহিরের অংশের ওজন $2{\cdot}5x$ kg। জলের ভিতরে ইটের আয়তন উহার মোট আয়তনের $(1-x)$ ভগ্নাংশ। জলের ভিতরে ইহার ওজন $2{\cdot}5(1-x)-2{\cdot}5(1-x)/1{\cdot}5$ kg। এই দুইএর যোগফল 2 kg হইবে। উঃ 0·7]

7. একটি কাচের বলের ওজন বায়ুতে 188 g, জলে 116 g ও তার্পিনে 125 g। কাচের ঘনত্ব ও তার্পিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব হিসাব কর। [উঃ 2·61 g/cm^3; 0·875]

8. 0·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের তেলে এক টুকরা সোডিয়ামের ওজন 0·34 g, এবং 0·7 গুরুত্বের তেলে উহার ওজন 0·54 g। সোডিয়াম টুকরার ভর, আয়তন ও ঘনত্ব বাহির কর।

[উঃ 1·94 g; 2 cm^3; 0·97 g/cm^3]

9. কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 7·55 g, জলে ওজন 5·17 g এবং অন্য একটি তরলে উহার ওজন 6·35 g। বস্তুটির ও তরলটির ঘনত্ব কত? [উঃ 3·17 ও 0·504 g/cm^3]

10. সোনা ও রূপায় তৈয়ারী একখণ্ড সংকর ধাতুর বায়ুতে ওজন 20·0 g এবং জলে ওজন 18·7 g। সোনা ও রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 19·3 এবং 10·5। ধাতুখণ্ডে কতটা সোনা আছে? [উঃ 13·9 g]

11. তোমাকে একটি ধাতব মুদ্রার ঘনত্ব বাহির করিতে বলা হইল। বায়ুতে ও জলে ওজন করিয়া উহার ঘনত্ব কিভাবে বাহির করিবে ব্যাখ্যা কর।

12. কাচের একটি ফাঁপা ছিপির ওজন 23·4 g। কাচের আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·50। জলে ডুবাইলে ছিপিটির আপাত ওজন হয় 3·90 g। ছিপির ফাঁপা অংশের আয়তন কত? [উ : 10·1 cm^3]

13. পাথরবসান একটি সোনার আংটির ওজন বায়ুতে 4·000 g এবং জলে 3·720 g। সোনার ঘনত্ব 19·3 g/cm^3 ও পাথরখণ্ডের ঘনত্ব 3·50 g/cm^3। আংটির পাথরখণ্ডের ওজন কত? [উ : 0·311g]

14. একখণ্ড সীসার ও একখণ্ড গন্ধকের জলে একই ওজন। উহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 11·4 ও 2 হইলে, উহাদের আয়তনের অনুপাত কত? [উ : 1 : 10·4]

15. তামায় তৈয়ারী একটি ফাঁপা গোলকের ওজন বায়ুতে 523 g ও জলে 447 g। তামার ঘনত্ব 8·9 g/cm^3 হইলে গোলকের ফাঁপা অংশের আয়তন কত? [উ : 17·24 cm^3]

16. 7·80 আপেক্ষিক গুরুত্বের একখণ্ড স্টীলের ওজন বায়ুতে 0·50 kg। সুতায় বাঁধিয়া উহাকে 0·83 আপেক্ষিক গুরুত্বের মেথিলেটেড স্পিরিটে ডুবাইলে সুতায় টান কত হইবে? [উ : 0·448 kg]

3-4. ভাসন্ত বস্তু (Floating bodies)। আর্কিমিডিসের তত্ত্ব অনুসারে কোন বস্তু তরলে আংশিক ডুবিয়া থাকিলে, উহার উপর ঊর্ধ্ববল হইবে স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান। আংশিক ডুবান বস্তুটির ওজন খাড়া নিচের দিকে ক্রিয়া করে। খাড়া দিকে এই দুই বল ছাড়া অন্য কোন বল ক্রিয়া না করিলে, যখন এই দুই বল সমান হইবে তখন বস্তুটি ভাসিয়া থাকিবে। অতএব **কোন বস্তু নিজ ওজনের সমান ওজনের তরলকে স্থানচ্যুত করিলে ঐ অবস্থায় ভাসিয়া থাকিবে।** ইহাই **ভাসিবার শর্ত (Condition of flotation)।**

কোন বস্তুকে তরলের উপর ছাড়িয়া দিলে উহা ক্রমশ ডুবিতে থাকিবে। ইহাতে স্থানচ্যুত তরলের পরিমাণ ক্রমশ বাড়িবে। যদি কোন সময় স্থানচ্যুত তরলের ওজন বস্তুটির ওজনের সমান হয়, তখন বস্তুটি ভাসিতে থাকিবে। এই অবস্থায় বস্তুটিকে তরলে আরও ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে স্থানচ্যুত তরলের ওজন বস্তুর ওজনের চেয়ে বেশী হওয়ায়, বস্তুটির উপর ঊর্ধ্ববল উহার ওজনের চেয়ে বেশী হইবে এবং উহা ভাসিয়া উঠিবে। নিজের ওজনের সমান ওজনের তরলকে স্থানচ্যুত করিতে না পারিলে বস্তুটি তরলে ডুবিয়া যাইবে।

মনে কর বস্তুটির আয়তন V এবং উহার ঘনত্ব (বা গড় ঘনত্ব) ρ। ρ' ঘনত্বের কোন তরলে বস্তুটির আয়তনের n ভগ্নাংশ ডুবান অবস্থায় বস্তুটি ভাসিতে থাকিলে, উহার ওজন $V\rho$ এবং স্থানচ্যুত তরলের ওজন $nV\rho'$। এক্ষেত্রে দুইএর সম্পর্ক হইবে

$$V\rho = nV\rho' \text{ বা } n = \rho/\rho' \qquad (3\text{-}4.1)$$

তরল যদি জল হয় তবে $\rho' = 1 g/cm^3$ ধরা যায়। তা ছাড়া, ρ/ρ' অনুপাত তখন বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব। অতএব জলে ভাসন্ত কোন বস্তুর ক্ষেত্রে

$$\frac{\text{জলের নিচে বস্তুটির আয়তন}}{\text{বস্তুটির মোট আয়তন}} = \text{বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব} \qquad (3\text{-}4.2)$$

অর্থাৎ বস্তুর আয়তনের যে ভগ্নাংশ (n) জলের নিচে তাহা = বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব (3-4.3)

অন্যভাবে বলা যায়, **নিজ আয়তনের n ভগ্নাংশ ডোবা অবস্থায় কোন বস্তু ভাসিতে থাকিলে বস্তুটির ঘনত্ব (বা আপেক্ষিক গুরুত্ব) তরলের ঘনত্বের (বা আপেক্ষিক গুরুত্বের) n গুণ।**

প্রশ্ন । (1) বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·917। জলে ভাসন্ত বরফখণ্ডের আয়তনের কত ভগ্নাংশ জলের উপরে থাকিবে? [উ: 0·083]

(2) সমুদ্রে ভাসন্ত কোন বরফস্তূপের যে অংশ জলের উপরে আছে তাহার আয়তন 1000 m^3। সমুদ্রজলের আপেক্ষিক্ষ গুরুত্ব 1·028 এবং বরফের 0·917। জলের নিচের বরফের আয়তন কত? [উ: 8261 m^3]

[সংকেত—বরফস্তূপের মোট আয়তন V হইলে nV আয়তন জলের নিচে এবং $(1-n)V$ আয়তন জলের উপরে। $n=0{\cdot}917/1{\cdot}028$ (3-4.1 সমীকরণ)।

অথবা, $nV \times 1{\cdot}028$ (স্থানচ্যুত জলের ওজন) $= V \times 0{\cdot}917$ (বরফের ওজন); $(1-n)V = 1000\ m^3$]

(3) একখণ্ড মোমের আয়তন 22 cm^3। জলে ভাসিতে থাকিলে উহার 2 cm^3 বাহিরে থাকে। মোমের ওজন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? [উ: 20g ; 10/11]

3-4.1. একই বস্তু দুই তরলে ভাসাইয়া উহাদের ঘনত্বের তুলনা। মনে কর একটি সুষম বেলনকে এক তরলে ভাসাইলে উহার দৈর্ঘ্যের $l_1$cm তরলের নিচে থাকে, এবং অন্য এক তরলে ভাসাইলে উহার $l_2$cm দ্বিতীয় তরলের নিচে থাকে। বেলনের প্রস্থচ্ছেদ a ও ঘনত্ব ρ ধরা যাক। প্রথম ও দ্বিতীয় তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 ও ρ_2। বেলন উভয় ক্ষেত্রেই নিজের সমান ওজনের তরল স্থানচ্যুত করে। বেলনের মোট দৈর্ঘ্য L হইলে উহার ওজন $La\rho g$। অতএব

$$La\rho g = l_1 a\rho_1 g = l_2 a\rho_2 g$$

অথবা $$L\rho = l_1\rho_1 = l_2\rho_2 \qquad (3\text{-}4.4)$$

অতএব $$l_1/L = \rho/\rho_1 \text{ এবং } l_1/l_2 = \rho_2/\rho_1 \qquad (3\text{-}4.5)$$

প্রথম তরলটি জল হইলে ρ_1 জলের ঘনত্ব, ρ/ρ_1 বেলনের আপেক্ষিক গুরুত্ব, এবং ρ_2/ρ_1 দ্বিতীয় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

প্রশ্ন । (1) সুষম প্রস্থচ্ছেদের কাঠের একটি বেলন 10 cm লম্বা। জলে ভাসাইলে উহার 2 cm জলের বাহিরে থাকে এবং লবণ দ্রবণে ভাসাইলে উহার 3 cm বাহিরে থাকে। লবণ দ্রবণের ঘনত্ব কত? [উ: 1·14 g/cm^3। এক্ষেত্রে $l_1=8$ cm এবং $l_2=7$ cm ; $\rho_1=1$g/cm^3]

(2) উপরের প্রশ্নে বেলনকে 1·25 আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন তরলে ছাড়িলে বেলনের কতটা বাহিরে থাকিবে? [উ: 3·6 cm। x cm বাহিরে থাকিলে $(10-x)$ cm তরলের ভিতরে থাকিবে। বেলনের প্রস্থচ্ছেদ a হইলে $(10-x)\,a \times 1{\cdot}25 = 8a \times 1$, কারণ জলে উহা 8 cm ডুবিয়া থাকে।]

3-4.2 ডুবিবার শর্ত (Condition of sinking)। বস্তুর ঘনত্ব (বা গড় ঘনত্ব) ρ এবং আয়তন V হইলে উহার ওজন $V\rho g$। তরলের ঘনত্ব ρ' হইলে বস্তুটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইলে $V\rho' g$ ওজনের তরল স্থানচ্যুত করিবে। $\rho > \rho'$ হইলে বস্তুটি

তরলে সম্পূর্ণ ডুবিলেও স্থানচ্যুত তরলের ওজন বস্তুটির ওজনের সমান হইতে পারিবে না।

অতএব **বস্তুর ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের চেয়ে বেশী হইলে বস্তুটি তরলে ডুবিবে।** ইহাই ডুবিবার শর্ত ; $\rho > \rho'$ ।

লোহার ঘনত্ব জলের প্রায় আট গুণ। তাহা হইলে লোহার তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে কি করিয়া? জাহাজ তৈয়ারির সময় উহাকে এমন আকারে দেওয়া হয় যাহাতে উহা নিজের ওজনের চেয়ে অনেক বেশী ওজনের জল স্থানচ্যুত করিতে পারে। একই কারণে লোহার কড়াইও জলে ভাসিতে পারে।

প্রশ্ন। সমুদ্রের জল নদীর জলের তুলনায় 1·03 গুণ ভারী। 5000 tonne ওজনের জাহাজ নদীতে এবং সমুদ্রে কত ঘন মিটার (m^3) জল স্থানচ্যুত করিবে? (1 tonne = 1000 kg)

[সংকেত—নদীর জলের এক tonne-এর ওজন 1000 kg ; আয়তন 1000 লিটার। এক ঘন মিটারে 1000 লিটার। অতএব নদীতে স্থানচ্যুত জলের আয়তন 5000 m^3 এবং সমুদ্রের জলে $(5000/1{\cdot}03)\ m^3 = 4854\ m^3$ (প্রায়)। সমুদ্রের ভারী জলে জাহাজ প্রায় 146 m^3 ভাসিয়া উঠিবে।]

মানব দেহের গড় ঘনত্ব প্রায় জলের সমান। শ্বাস পুরাপুরি ত্যাগ করিলে দেহ জলের চেয়ে ভারী হয় ও ডোবে। শ্বাস সম্পূর্ণ টানিয়া ফুসফুস বায়ুতে ভরিয়া রাখিলে দেহ জলের চেয়ে হালকা থাকে ও ভাসে।

ডেড্ সীর (Dead Sea-র) জলে এত লবণ দ্রাবিত আছে যে উহাতে মানুষের দেহ ডোবে না।

প্রশ্ন। 0·7 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি কাঠের ঘনকের উপর একখণ্ড লোহা রাখিলে ঘনকটি জলে পূর্ণ ডোবান অবস্থায় থাকে। ঘনকের আয়তন 100 cm^3 হইলে লোহাখণ্ডের ওজন কত? [উঃ 30g]

3-4.3 ভাসার কয়েকটি উদাহরণ। (১) পূর্ণ জলভরা একটি গেলাসে একখণ্ড বরফ ভাসিতেছে। বরফ গলিলে জল গেলাসের বাহিরে উপচাইয়া পড়িবে কি না? জল উপচাইবে না, কারণ বরফখণ্ড নিজ ওজনের জল স্থানচ্যুত করিয়া রাখিয়াছে। বরফগলা জল ঠিক এই জায়গাটুকুই পূর্ণ করে। অতএব বরফ গলার সময়ও জলতলের (water level-এর) কোন পরিবর্তন হয় না।

(২) একটি গেলাসে জলে একখণ্ড শোলা ভাসিতেছে, এবং শোলার উপর একটুকরা লোহা রাখা আছে। লোহার টুকরা শোলার উপর হইতে তুলিয়া গেলাসের জলে ফেলিলে গেলাসে জলতল (water level) উঠিবে, কি নামিবে, কি অপরিবর্তিত থাকিবে?

শোলা উভয় ক্ষেত্রেই নিজ ওজনের সমান ওজনের জল স্থানচ্যুত করিয়া ভাসিয়া থাকে। লোহা যখন শোলার উপরে থাকে তখন লোহা নিজ **ওজনের** জল স্থানচ্যুত করে ; কিন্তু জলের ভিতর উহা নিজ **আয়তনের** জল স্থানচ্যুত করে। লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব প্রায় আট (৪) বলিয়া লোহার ওজনের জলের আয়তন লোহার আয়তনের প্রায় আট গুণ বেশী। অতএব শোলার উপর থাকা অবস্থায় লোহা বেশী জল

স্থানচ্যুত করে। সুতরাং লোহা শোলার উপর হইতে নিয়া জলে ফেলিলে গেলাসের জলতল নামিবে।

(৩) সাবমেরিন (Submarine)। সাবমেরিনের দরকারমত ভাসিয়া বা ডুবিয়া চলিতে হয়। এজন্য উহার বাহিরে খোলকের (shell-এর) ভিতরে আর একটি খোলক থাকে। দুই খোলকের মধ্যে আলাদা আলাদা কতকগুলি চৌবাচ্চা থাকে। এগুলি ইচ্ছামত জলে ভরা যায়, বা বায়ুর চাপে এগুলি হইতে জল বাহির করিয়া দেওয়া যায়। চৌবাচ্চাগুলি বায়ুতে ভরা থাকিলে সাবমেরিন জলে ভাসিতে থাকে। চৌবাচ্চায় জল ভরিলে সাবমেরিন জলের চেয়ে মোটের উপর ভারী হয় ও ডোবে।

(৪) বেলুন (Balloons)। জলে একটুকরা শোলা ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা ভাসিয়া ওঠে। শোলার ওজনের চেয়ে স্থানচ্যুত জলের ওজন বেশী ; অতএব ঊর্ধ্ববলও শোলার ওজনের চেয়ে বেশী। হাইড্রোজেন বা হিলিয়াম গ্যাসভরা হালকা বেলুন উপরে ওঠে, কারণ এক্ষেত্রেও স্থানচ্যুত বায়ুর ওজনের চেয়ে বেলুনের মোট ওজন কম। শোলা এবং বেলুন উভয়ের ক্ষেত্রেই (অর্থাৎ জলে এবং গ্যাসে) আর্কিমিডিসের তত্ত্ব সমানভাবে প্রযোজ্য।

প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে (0°C উষ্ণতা ও 76 cm পারার চাপে) হাইড্রোজেনের ঘনত্ব প্রায় $0{\cdot}09\ kg/m^3$, হিলিয়ামের $0{\cdot}178\ kg/m^3$ ও বায়ুর $1{\cdot}29\ kg/m^3$। ঐ চাপ ও উষ্ণতায় বেলুনের আয়তন $500\ m^3$ হইলে, হাইড্রোজেনভরা বেলুনে ঊর্ধ্ববল হইবে $(1{\cdot}29-0{\cdot}09)\times 500\ kg = 600\ kg$। হিলিয়ামে হইবে প্রায় $(1{\cdot}29-0{\cdot}18)\times 500\ kg = 555\ kg$। বেলুনের আবরণ, দড়িদড়া, ঝুলান আধার ও আধারে অবস্থিত বস্তুগুলির ওজন এক্ষেত্রে হাইড্রোজেনে প্রায় 600 kg ও হিলিয়ামে প্রায় 555 kg হইলেও বেলুন উপরে উঠিবে। বেলুনের তোলনক্ষমতা (lifting power) এইভাবে হিসাব করা যায়।

হাইড্রোজেন দাহ্য বলিয়া বেলুনে হিলিয়াম ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়।

3-5. প্রবাহী (Fluid)। পদার্থকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়—(১) কঠিন ও (২) প্রবাহী। **প্রবাহী (Fluid)** বলিতে যে সকল পদার্থ প্রবাহিত হইতে (অর্থাৎ flow করিতে) পারে তাহাদের বুঝায়। অতএব তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থ উভয়েই প্রবাহীর অন্তর্গত। এ জন্য তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের সাম্য এবং গতি একই রকমের মৌলিক সূত্র দিয়া নিয়ন্ত্রিত হইবে। প্রভেদ যাহা হইবে তাহা প্রধানত তরলে সংনম্যতা (compressibility)-র অভাব ও গ্যাসে ইহার প্রাচুর্যের জন্য।

কঠিন পদার্থে ও প্রবাহীতে মৌলিক প্রভেদ হইল কঠিনের স্পার্শক পীড়ন (Tangential stress)-এর ক্রিয়া রোধ করিতে পারার ক্ষমতা, এবং প্রবাহীর উহা করিতে পারার অক্ষমতা। **তরল বা গ্যাস স্পার্শক বলের ক্রিয়া প্রতিরোধ করিতে পারে না**। স্পার্শক বলের ক্রিয়ায় তরল বা গ্যাস কণার সরণ বাড়িয়াই চলে। কঠিন পদার্থে স্পার্শক বলের ক্রিয়ায় কণা খানিকটা সরিয়া প্রতিরোধী বলের ক্রিয়ায়

সাম্যে আসে। অতএব **সাম্যে অবস্থিত তরল বা গ্যাসে কোনপ্রকার স্পার্শক বলের ক্রিয়া থাকিবে না। এই তথ্য ও সাম্যের শর্তের সাহায্যে উদস্থিতিবিদ্যার সকল ঘটনাই ব্যাখ্যা করা যায়।**

3-6. উদস্থিতিবিদ্যা (Hydrostatics)। হাইড্রোস্ট্যাটিক্‌স্ বলিতে ব্যাপক অর্থে সাম্যে অবস্থিত প্রবাহীর (তরল ও গ্যাস উভয়ের) ধর্ম আলোচনা বুঝায়। সাম্যে অবস্থিত বলিতে আমরা আলোচ্য প্রবাহী অভিকর্ষের ক্রিয়ায় সাম্যে আছে তাহাই বুঝিব। তরলের ক্ষেত্রে উহার উপর ক্রিয়াশীল বল হইবে অভিকর্ষ এবং আধারের চাপ। গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা কেবল অভিকর্ষের ক্রিয়াধীন গ্যাস, অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের কথা এবং পাত্রে আবদ্ধ গ্যাসের কথাও আলোচনা করিব।

'প্রবাহী স্পার্শক বলের ক্রিয়া প্রতিরোধ করিতে পারে না' বলিতে বুঝায় প্রবাহীর যে কোন তলে (plane-এ) যদি তলের সমান্তরাল কোন বল প্রয়োগ করা যায়, তাহা হইলে ঐ তলে অবস্থিত প্রবাহী কণা বলের অভিমুখে প্রবাহিত হইবে। অতএব **সাম্যে অবস্থিত তরলে কোন স্পার্শক বল থাকিতে পারিবে না।** থাকিলে সাম্য হইবে না।

প্রবাহীর উপরোক্ত ধর্ম হইতে উহাদের উদস্থৈতিক সকাল ধর্মই পাওয়া যায়।

(১) স্থির প্রবাহীর সংস্পর্শে অবস্থিত যে কোন তলের উপর প্রবাহী ঐ তলের অভিলম্বে বল প্রয়োগ করে। (3-8 বিভাগ দেখ।)

(২) স্থির তরলের ভিতরে যে কোন বিন্দুতে তরল চাপ দেয় ; এই চাপ ঐ বিন্দু যে গভীরতায় আছে তাহার সমানুপাতিক। (3-9 বিভাগ দেখ।)

(৩) যে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ সকল দিকে সমান। (3-8 বিভাগ দেখ।)

(৪) বদ্ধ পাত্রে অবস্থিত প্রবাহীর কোন অংশে চাপ বাড়াইলে ঐ চাপ নিজের মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরলের সর্বত্র সঞ্চালিত হয়।

প্রথম তিনটির সাহায্যে আর্কিমিডিসের তত্ত্বে আসা যায়। চতুর্থটিকে প্যাস্কালের সূত্র (Pascal's law) বলে। মনে রাখিও আর্কিমিডিসের তত্ত্ব ও প্যাস্কালের সূত্র তরলে এবং গ্যাসে সমভাবে প্রযোজ্য। তবে তরলে উহাদের প্রয়োগ-সম্বন্ধেই আমাদের দৃষ্টি বেশী।

(১)—(৩) ফলগুলির সাহায্যে আরও কতকগুলি অনুসিদ্ধান্তে আসা যায়। ইহাদের মধ্যে নিচেরগুলি মনে রাখা ভাল :

(ক) যে কোন তরলের ভিতরে একই অনুভূমিক তলে চাপ সর্বত্র সমান হইবে।

(খ) একই তরল দিয়া পরস্পর সংযুক্ত পাত্রে তরল পৃষ্ঠ একই অনুভূমিক তলে থাকে। (U-নলের দুই বাহুতে বা কেতলির ভিতরে ও নলে জল-পৃষ্ঠ সমান হয়।) ইহাকেই বলা হয় 'তরল নিজতল খুঁজিয়া লয়'।

(গ) তরল দিয়া সংযুক্ত বিভিন্ন পাত্রে একই বা বিভিন্ন তরল থাকিলে, যে কোন অনুভূমিক তলে সকল পাত্রেই তরলের চাপ সমান হয়। (U-নলে নিচের অংশে খানিকটা পারা, এক বাহুতে জল ও অন্য বাহুতে অন্য তরল থাকিলে, দুই বাহুতে একই অনুভূমিক তলে চাপ সমান হইবে। ঐ তলের উপরে যে তরল আছে তাহার ঘনত্ব ও গভীরতা দিয়া চাপ নির্ণীত হয়।)

অনুভূমিক (Horizontal) ও উল্লম্ব (Vertical)। কোন বিস্তৃত পাত্রে সাম্যে অবস্থিত তরল পৃষ্ঠ যে তলে থাকে তাহাই অনুভূমিক তল। অনুভূমিক তলের অভিলম্ব দিক্‌কে উল্লম্ব (বা খাড়া) বলে। ওলনদড়ি যে রেখায় ঝুলিয়া থাকে তাহাই উল্লম্ব দিক্। ইহার অভিলম্ব যে কোন তল অনুভূমিক তল।

3-7. চাপ (Pressure)। সাম্যে অবস্থিত তরলের (বা গ্যাসের) ধর্ম আলোচনায় তরলের (বা গ্যাসের) ভিতরে 'কোন বিন্দুতে চাপ' কথাটি অনবরত আসিবে। কাজেই 'চাপ' এবং 'তরলের (বা গ্যাসের) কোন বিন্দুতে চাপ' বলিতে কি বুঝায় আমরা তাহা আলোচনা করিয়া লইব।

কোন তলের খানিকটা ক্ষেত্র (A) জুড়িয়া ক্ষেত্রের অভিলম্বে কোন বল (F) ক্রিয়া করিলে, F/A অনুপাতকে ঐ ক্ষেত্রের উপর ক্রিয়াশীল **চাপ** বলে। চাপ ও বল এক নহে ; চাপ = বল/ক্ষেত্রফল (area)। একই বল কম ক্ষেত্র জুড়িয়া ক্রিয়া করিলে চাপ বেশী হইবে ; বিস্তৃততর ক্ষেত্রের উপর ক্রিয়া করিলে চাপ কম হইবে।

চাপ ও বলের পার্থক্য বুঝিতে খুব সহজ একটি পরীক্ষা করিয়া দেখিতে পার। একটি ছুঁচাল পেনসিল ও একটু ভারী একখানা বই নাও। কোথাও বসিয়া উরুর উপরে পেনসিলের মোটা দিকটি রাখিয়া খাড়া পেনসিলের সরু মাথায় বইখানা রাখ। পেনসিলের মোটা দিকটি তোমার গায় যেখানে ঠেকিয়া আছে সেখানে একটা চাপ অনুভব করিবে। এবার পেনসিলের সরু মাথা উরুতে ঠেকাইয়া খাড়া পেনসিলের মাথায় বইখানা রাখ। এখন আগের তুলনায় অনেক বেশী চাপ অনুভব করিবে। পেনসিল যথেষ্ট ছুঁচাল থাকিলে এবং বইখানা একটু বেশী ভারী হইলে দ্বিতীয় বারে বেশ ব্যথাও পাইতে পার। দুবারেই প্রযুক্ত বল একই ছিল ; উহা কার্যত বইয়ের ওজন। কিন্তু প্রথম বারে এই বল পেনসিলের মোটা দিক দিয়া বিস্তৃততর ক্ষেত্রের উপর ক্রিয়া করিয়াছে। কিন্তু দ্বিতীয়বার একই বল পেনসিলের সরু মাথা দিয়া অল্প ক্ষেত্রের উপর ক্রিয়া করিয়াছে। ক্ষেত্রফল আলাদা হওয়ায় প্রথমবার চাপ কম, দ্বিতীয়বার চাপ বেশী। বল উভয় ক্ষেত্রেই সমান।

খালি পায়ে সমতল জায়গায় দাঁড়াইয়া থাকিতে কোন কষ্ট হয় না। তোমার ওজন পায়ের তলার সম্পূর্ণ ক্ষেত্রের উপর ছড়াইয়া থাকে। কিন্তু যে রাস্তায় মেরামতের জন্য ভাঙা পাথরের টুকরা ছড়ান আছে, তাহার উপর দাঁড়াইলে পায়ের তলায় কতকগুলি জায়গায় বেশ ব্যথা পাইবে। কারণ এবার তোমার ওজন পায়ের তলায় সমানভাবে না ছড়াইয়া পাথরের টুকরাগুলি তোমার পা যে সব জায়গায় স্পর্শ করিয়াছে কেবল সেইসব জায়গায় পড়িতেছে। ভাঙা পাথরের মাত্র কয়েকটা কোনার উপর যদি তোমার পা থাকে, তাহা হইলে সেখানে চাপ বেশী পড়ায় খুব ব্যথা পাইতে পার।

একক ক্ষেত্রফলের উপর অভিলম্বে ক্রিয়াশীল বলকে চাপ বলে।

$$\text{চাপ } P = \text{বল } F/\text{ক্ষেত্রফল } A \qquad (3\text{-}7.1)$$

এই F বলকে থ্রাস্ট (Thrust, ঘাত)ও বলা হয়।

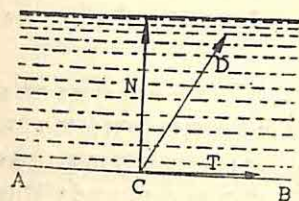
3-7.1. চাপের একক। চাপের মান বলিতে বল ও ক্ষেত্রফল উভয় রাশির মান আসে। বলকে নানাপ্রকার এককে প্রকাশ করা যায়, এবং ক্ষেত্রফলকেও। এই দুই এককের সমন্বয়ে যতরকম যৌগ একক হইতে পারে চাপকে ততরকম এককে প্রকাশ করা যায়।

সিজিএস্ পদ্ধতিতে চাপের একক 1 dyn/cm^2। ইহার আলাদা কোন নাম নাই।

এম্‌কেএস্ পদ্ধতিতে বলের একক নিউটন (newton, চিহ্ন N) ও ক্ষেত্রফলের একক বর্গমিটার। অতএব এম্‌কে এস্ পদ্ধতিতে চাপের একক $1\ N/m^2 = 10^5\ dyn/10^4\ cm^2 = 10\ dyn/cm^2$। ইহার নাম দেওয়া হইয়াছে 'প্যাস্কাল' (pascal ; চিহ্ন P)।

এফ্‌পিএস পদ্ধতিতে চাপের একক 1 $poundal/ft^2$। এগুলি ছাড়া চাপের নানারকম মিশ্র একক প্রচলিত আছে—যেমন $kg\text{-}wt/m^2$ $g\text{-}wt/cm^2$, $lb\text{-}wt/in^2$ ইত্যাদি।

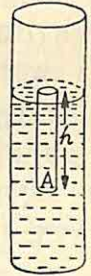
3-7.2. কোন বিন্দুতে চাপ (Pressure at a point)। বিন্দুর জ্যামিতিক সংজ্ঞা অনুসারে উহার কোন ক্ষেত্রফল নাই। তাহা হইলে 'কোন বিন্দুতে চাপ' বলিতে কি বুঝিব? আলোচ্য বিন্দু ঘেরিয়া স্বল্প আয়তন ক্ষেত্র a কল্পনা কর। a এত ছোট যে উহার অভিলম্বে ক্রিয়াশীল বল a-র উপর সুষমভাবে ছড়ান। এই অবস্থায় a ক্ষেত্রের উপর যদি মোট বল f অভিলম্বে ক্রিয়া করে, তবে আলোচ্য বিন্দুতে চাপ বলিতে f/a অনুপাত বুঝাইবে। (জ্যামিতিক বিন্দু ও ভৌত বিন্দুতে (physical point) উপরোক্ত প্রকারের প্রভেদ ইহা মনে রাখিতে পারিলে অনেক অসুবিধা হইতে রক্ষা পাইবে।)

3-8. স্থির তরলের সংস্পর্শে অবস্থিত কোন তলের উপর ঐ তরল তলের অভিলম্বে বল প্রয়োগ করে (A liquid at rest exerts a normal thrust on any surface with which it is in contact)। 3·2 চিত্রে ACB স্থির তরলে ডুবান কোন তলের অংশ বিশেষ। মনে কর C বিন্দু ঘেরিয়া স্বল্পায়তন কোন অংশ a-র উপর তরল DC অভিমুখে চাপ দেয়। a-তল তরলের উপর CD অভিমুখে প্রতিক্রিয়ার বল প্রয়োগ করিবে। এই প্রতিক্রিয়ার বল f-কে C বিন্দুতে a-র অভিলম্বে N ও a-র তলে T উপাংশে ভাগ কর। T উপাংশ a-র সংস্পর্শে অবস্থিত তরল তলের সমান্তরালে ক্রিয়া করে। ইহার ক্রিয়ায় তরল T-র ক্রিয়ামুখে সরিতে থাকিবে। কিন্তু আমরা তরল স্থির আছে বলিয়া ধরিয়াছি; উহার কোথাও গতি থাকিতে পারিবে না। অতএব a-র উপর ক্রিয়াশীল বলের T-রূপী a-র সমান্তরাল কোন উপাংশ থাকিতে পারিবে না, অর্থাৎ f সম্পূর্ণরূপে a-র অভিলম্বে ক্রিয়া করিবে।

চিত্র 3·2

উপরে আলোচিত a-তল অন্য কোন পদার্থের তল না হইয়া আলোচ্য তরলের ভিতরেই কল্পিত কোন তল হইতে পারে। এ ক্ষেত্রেও উপরের মত একইভাবে কারণ দেখাইয়া আমরা বলিতে পারি C-কে ঘেরিয়া যে কোন স্বল্পায়তন a-তলের উপর তরল a-র অভিলম্বে বল প্রয়োগ করে। C-কে ঘেরিয়া a-তল যে কোন দিকে কল্পনা করা যায়। a-র উপর ক্রিয়াশীল বল f হইলে f/a হইবে C বিন্দুতে চাপ। C তরলের ভিতর যে কোন বিন্দু হইতে পারে। ইহা হইতে সিদ্ধান্ত করা যায়

স্থির তরলের ভিতরে যে কোন বিন্দুতে চাপ সর্বমুখী ও সমান। এই চাপকে **ঔদ চাপ (Hydrostatic pressure)** বলে।

[এখানে 3-6 বিভাগে বর্ণিত (১) ও (৩) উক্তি প্রমাণিত হইল।]

3-9. স্থির তরলের ভিতরে কোন বিন্দুতে চাপের মান (Pressure at a point inside a liquid at rest)। 3·3 চিত্রে A বিন্দু কোন স্থির তরলে (সাম্যে অবস্থিত তরলে) h গভীরতায় অবস্থিত একটি বিন্দু বুঝায়। A-কে ঘেরিয়া স্বল্পায়তন অনুভূমিক তল a কল্পনা কর। a-র খাড়া উপরে অবস্থিত তরল অংশের সাম্য বিবেচনা কর। উহা সাম্যে আছে বলিয়া উহার উপর মোট নিম্নমুখী বল মোট ঊর্ধ্বমুখী বলের সমান হইবে। আলোচ্য বেলন আকার তরল অংশের উপর ক্রিয়াশীল নিম্নমুখী বল হইল উহার ওজন। ইহার মান $W = ah\rho g$। এখানে ρ তরলের ঘনত্ব এবং g অভিকর্ষীয় ত্বরণ। ঊর্ধ্বমুখী বল হইল a-র উপর a-র নিচের তরল যে f বল প্রয়োগ করে তাহা। সাম্য আছে বলিয়া $f = W = ah\rho g$ হইবে। অতএব A বিন্দুতে চাপ

চিত্র 3·3

$$P = f/a = h\rho g \qquad (3\text{-}9.1)$$

অর্থাৎ **চাপ = গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষীয় ত্বরণ**

h, ρ, g রাশিগুলি যে পদ্ধতির এককে নেওয়া হইবে, চাপও সেই পদ্ধতির এককে প্রকাশিত হইবে।

3-9.1 চাপের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational unit of pressure)। 3-9.1 সমীকরণে f-কে g দিয়া ভাগ করিলে বল অভিকর্ষীয় এককে প্রকাশিত হয়। অতএব P-কে g দিয়া ভাগ করিলে চাপ অভিকর্ষীয় এককে প্রকাশিত হইবে। এই মানকে P' বলিলে

$$P' = P/g = h\rho \qquad (3\text{-}9.2)$$

অনেক ক্ষেত্রে চাপ এই ভাবেই প্রকাশ করা হয়। উদাহরণস্বরূপ বায়ুমণ্ডলের চাপের কথা ধরা যাইতে পারে। বলা হয় "বায়ুমণ্ডলের চাপের মান 76 cm পারা" (76 cmHg)। ইহার অর্থ 76 cm গভীর কোন পারাস্তম্ভের নিচে কোন বিন্দুতে যে চাপ, বায়ুমণ্ডলের চাপ তাহার সমান। পারার $\rho = 13{\cdot}6$ g/cm^3

এবং $g = 980$ cm/s² ধরিলে, 3-9.1 সমীকরণ অনুসারে এই চাপের মান হইবে

$$P = 76 \text{ cm} \times 13{\cdot}6 \text{ g/cm}^3 \times 980 \text{ cm/s}^2$$
$$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \text{ cm}^2 \text{ g/cm}^3.\text{s}^2$$
$$= 1{\cdot}013 \times 10^6 \ \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2}\cdot\frac{1}{\text{cm}^2} = 1{\cdot}013 \times 10^6 \ \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}.$$

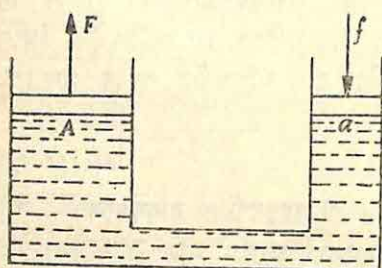
ইহাতে চাপ সিজিএস্ এককে প্রকাশিত হইল। অভিকর্ষীয় এককে এই মান প্রকাশ করিলে পাইব

$$P' = P/g = h\rho = 76 \times 13{\cdot}6 \text{ g-wt/cm}^2 = 1034 \text{ g-wt/cm}^2.$$

3-10. প্যাস্কালের চাপ সঞ্চালনের সূত্র (Pascal's law of transmission of fluid pressure)। অভিকর্ষের ক্রিয়াধীন তরলের কোন বিন্দুতে চাপ তরলের মুক্ততলের নিচে ঐ বিন্দুর গভীরতা ও তরলের ঘনত্বের উপর নির্ভর করে, এবং ঐ চাপ সর্বমুখী (3-8 ও 3-9 বিভাগ)—এই তথ্য হইতে ফরাসী গণিতবিৎ প্যাস্কাল (1623-1662) একটি অপূর্ব সিদ্ধান্তে আসেন। সিদ্ধান্তটিকে **প্যাস্কালের সূত্র** বলে। ভাষায় উহা নিচের মত করিয়া বলা যায় :

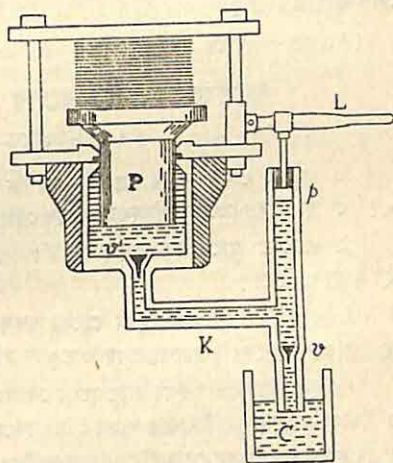
বদ্ধপাত্রে সাম্যে অবস্থিত তরলের কোন অংশে চাপ বাড়াইলে ঐ বর্ধিত চাপ নিজের মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরলের সর্বত্র সঞ্চালিত হয় এবং আধারের উপরেও প্রযুক্ত হয়। বদ্ধপাত্রে অবস্থিত গ্যাস সম্বন্ধেও ইহা প্রযোজ্য।

খুব সহজ তাত্ত্বিক বিচারে এ সিদ্ধান্তে আসা যায়। ঐ রূপ তরলের (বা গ্যাসের) কোন স্থানে বাহ্য বল প্রয়োগে চাপ বাড়াইলে বর্ধিত চাপ নিজ মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরলের (বা গ্যাসের) সর্বত্র সঞ্চালিত না হইলে তরল (বা গ্যাস) সাম্যে থাকিতে পারিত না; উচ্চ চাপ হইতে নিম্ন চাপের দিকে অনবরত প্রবাহিত হইতে থাকিত।

প্যাস্কাল সূত্রের সাহায্যে বল বিবর্ধনের তত্ত্ব। প্যাস্কাল সূত্রের সাহায্যে অল্প বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে অনেক গুণ বাড়ান যায়। 3·4 চিত্রে দেখান ব্যবস্থা কল্পনা কর। A এবং a প্রস্থচ্ছেদের দুইটি বেলনকে একটি নল দিয়া যোগ করা হইয়াছে ($A > a$)। উভয় বেলন খানিকটা তরলে ভরা, এবং তরলের ঠিক উপরে দুটি পিস্টন (Piston) নল দুটি সম্পূর্ণ জুড়িয়া আছে। এই তরল কার্যত বদ্ধপাত্রে এবং সাম্যে অবস্থিত তরল। এবার a ছেদের পিস্টনের উপর f বল প্রয়োগ করা হইল। ইহাতে তরলের উপর চাপ $P = f/a$ পরিমাণ বাড়ে। প্যাস্কাল সূত্র অনুসারে মান অপরিবর্তিত রাখিয়া ইহা তরলের

চিত্র 3·4

সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে। অতএব A ছেদের পিস্টনের উপরেও P চাপ পড়িবে। ইহাতে বড় পিস্টনের উপর ক্রিয়াশীল বল হইবে $F=P\times A=f\times(A/a)$। প্যাস্কাল সূত্রের ক্রিয়ায় f বল A/a গুণ বাড়িল। $a=1\ \text{cm}^2$ এবং $A=1000\ \text{cm}^2$ হইলে a-র উপর 1 kg বল প্রয়োগ করিলে A উপরের দিকে 1000 kg বল প্রয়োগ করিতে পারিবে।

শক্তি সংরক্ষণ। বলের বিবর্ধনে শক্তি সংরক্ষণ সূত্র ভগ্ন হয় না। a পিস্টন s_1 দূরত্ব সরিলে, A পিস্টন সরিবে $as_1/A=s_2$। a-র উপরে কৃত কার্য $fs_1=(Fa/A)\ s_1 = Fs_2 = F$ দ্বারা কৃত কার্য।

3-10.1. হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic press)। হাইড্রলিক প্রেস বলিতে প্যাস্কাল সূত্রের সাহায্যে অল্প বল প্রয়োগে বহুগুণ বর্ধিত বলের ক্রিয়া পাওয়ার চাপন-যন্ত্র বিশেষ বুঝায়। বর্তমানে নানা রকম কাজে ইহা ব্যবহার করা হয়। উদাহরণস্বরূপ তুলা বা পাটের গাঁট চাপিয়া বাঁধা, ধাতুপাতে গর্ত করা বা পাতকে চাপিয়া দরকার মত আকারে আনা, লোহা বা কংক্রীটের আড়ার (beam-এর) জোর পরীক্ষা করা, বীজ হইতে তেল বাহির করা, ইত্যাদির উল্লেখ করা যায়।

চিত্র 3.5

উপরের কাঠামোর সঙ্গে জোরে চাপিয়া ধরার জন্য উদ্ভাবিত একটি হাইড্রলিক প্রেসের নক্সা 3.5 চিত্রে দেখান হইয়াছে। L লিভারের সাহায্যে p পিস্টনকে উপরে তুলিলে C পাত্র হইতে জল পিস্টন যে নলে আছে সেই নলে v ভাল্‌ভ পার হইয়া ঢোকে। এখন L লিভার নিচের দিকে চাপিলে v ভাল্‌ভ বন্ধ হয় ও v′ ভাল্‌ভ খুলিয়া বড় নলে জল ঢোকে। p পিস্টনের সাহায্যে সরু নলের জলে যে চাপ দেওয়া হইয়াছিল তাহা মান অপরিবর্তিত রাখিয়া K নলের মধ্য দিয়া বাঁ দিকের চওড়া নলের জলে সঞ্চালিত হয়। চওড়া নলের মুখ আঁটিয়া যে চওড়া পিস্টন P আছে, এই বর্ধিত চাপ তাহার উপর ক্রিয়া করে। p ও P-র প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে a ও A হইলে P-তে প্রযুক্ত বল F-এর মান $A\times(f/a)$। এখানে f হইল p পিস্টনে প্রযুক্ত বল। উহা যন্ত্রে A/a গুণ বর্ধিত হইল।

হাইড্রলিক প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা (Mechanical advantage)। L লিভারও বাহির হইতে প্রযুক্ত বলকে বাড়ায়। লিভারে দীর্ঘবাহুর প্রান্তে যদি f' বল কেহ প্রয়োগ করে, এবং দীর্ঘবাহুর দৈর্ঘ্য হ্রস্ববাহুর দৈর্ঘ্যের m গুণ হয়, তাহা

হইলে পিস্টন p-তে প্রযুক্ত বল $f = mf'$। অতএব যন্ত্রে বলের মোট বিবর্ধন F/f' $= (A/a)f / f' = m\,(A/a)$। ইহার m অংশ লিভারের জন্য ও A/a প্যাস্কাল সূত্রের জন্য। mA/a-কে যন্ত্রের 'যান্ত্রিক সুবিধা' (Mechanical advantage) বলে।

হাইড্রলিক প্রেস ছাড়া প্যাস্কাল সূত্রের অন্য অনেক **প্রয়োগও** আছে। মোটর গাড়ির হাইড্রলিক ব্রেক, ভারীবস্তু উপরে তুলিবার হাইড্রলিক জ্যাক (hydraulic jack) ইহাদের অন্যতম। এগুলি বদ্ধপাত্রে রাখা তরলে প্যাস্কাল সূত্রের প্রয়োগ। বদ্ধপাত্রে রাখা গ্যাসের উপর চাপ বাড়াইলে আধারের সর্বত্র গ্যাসের চাপ সমান ভাবে বাড়ে। বেশী চাপের গ্যাসের সাহায্যে নানা প্রকার যন্ত্রপাতি চালান যায়।

প্রশ্ন। কোন হাইড্রলিক প্রেসের দুই বেলনের ব্যাস যথাক্রমে 2 cm ও 10 cm। ছোট পিস্টনটি 1 মিটার লম্বা লিভারে লাগান, এবং লিভারের আলম্ব হইতে পিস্টন যেখানে লাগান তাহার দূরত্ব 10 cm। আলম্ব লিভারের এক প্রান্তে 1000 kg (= 1 tonne) বলের ক্রিয়া পাইতে লিভারের প্রান্তে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে?

[উঃ 4 kg বল]

(সংকেত— এখানে $A/a = 10^2/2^2 = 25$, এবং $m = 100\ \text{cm}/10\ \text{cm} = 10$)

ভাসন্ত বস্তু ও তরলের চাপ সংক্রান্ত অনুশীলনী

(3-4 হইতে 3-10 বিভাগ)

1. তরলে কোন কঠিন বস্তু ভাসিবে কি ডুবিবে তাহার শর্ত বাহির কর। বেলুন উপরে ওঠে কেন? লোহা জলের চেয়ে ভারী হওয়া সত্ত্বেও লোহার জাহাজ জলে ভাসে কেন?

2. বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·917। একখণ্ড বরফের আয়তনের কত ভগ্নাংশ জলের উপরে বাহির হইয়া থাকিবে?

[উঃ 0·083]

3. (ক) সোজা এবং সুষম ছেদের একখানা লাঠির 0·9 অংশ জলে ডোবে। কোন তরলে উহার 0·8 অংশ ডোবে। তরলের ঘনত্ব কত?

[উঃ 1·125 g/cm³]

(খ) 10 cm² সুষম প্রস্থচ্ছেদের সোজা একখানা লাঠি জলে 1·2 m ডুবান হইল। উহার উপর ঊর্ধ্ববল কত? লাঠিখানার ওজন 1 kg হইলে উহাকে জলে ঐ ভাবে ডুবাইয়া রাখিতে কত বলের প্রয়োজন হইবে? এই বল কোন্ দিকে ক্রিয়া করিবে?

[উঃ 1200 g-wt ; 200 g-wt ; নিচের দিকে।]

4. কোন বস্তু জলে ভাসিয়া থাকিলে উহার আয়তনের 1/6 অংশ জলের বাহিরে থাকে। 1·2 g/cm³ ঘনত্বের কোন তরলে ভাসাইলে উহার আয়তনের কত অংশ বাহিরে থাকিবে?

[উঃ 11/36]

5. বরফের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·916 এবং সমুদ্রজলের 1·025। ভাসন্ত কোন বরফস্তূপের 1000 m³ আয়তন সমুদ্রজলের বাহিরে থাকিলে জলের নিচের বরফ অংশের আয়তন কত?

[উঃ 8404 m³]

6. সমুদ্রগর্ভের সঙ্গে হালকা তারে আবদ্ধ 'মাইন' (mine)-এর আয়তন 200 লিটার এবং গড় আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·95। সমুদ্রজলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·02 হইলে মাইনের উপর ঊর্ধ্ববল এবং তারে টান কত?

[উঃ 204 kg-wt ; 14 kg-wt]

7. 5 cm বাহুবিশিষ্ট 0·4 আপেক্ষিক গুরুত্বের ঘনক জলে কতটা ডুবিবে? উহার উপর ঊর্ধ্ববল কত? 0·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের কেরোসিনে ভাসাইলে উহার উপর ঊর্ধ্ববল কত হইবে?

[উঃ 2 cm ; উভয় ক্ষেত্রে 50 g-wt]

8. (ক) একখানা বজরার উপর একটি হাতী উঠিলে বজরা জলে 4 cm বেশী ডোবে। জলের রেখায় বজরার গড় প্রস্থচ্ছেদ 125 m^2 ধরিলে হাতীটির ওজন কত? [উঃ 5000 kg]

(খ) কোন প্রকার মাল না নিলে সমুদ্র-গামী একখানা জাহাজের 8 m জলের নিচে থাকে। জল-রেখায় উহার গড় প্রস্থচ্ছেদ 2000 m^2 হইলে কত ওজনের মাল নিলে উহা 8 m-এর জায়গায় 8·5 m ডুবিবে? (সমুদ্রজলের ঘনত্ব = 1·03 g/cm^3)। [উঃ 1030 tonne (1 tonne = 1000 kg)]

9. একটি ফাঁপা ধাতব গোলকের ফাঁপা অংশের আয়তন 1720 cm^3। উহার মোট আয়তন 2000 cm^3। উহাকে জলে পুরা ডুবাইতে 2 g-wt বল দরকার হয়। ধাতুর ঘনত্ব কত?

[উঃ 7·13 g/cm^3]

10. একটি ফাঁপা গোলকের ভিতরের ও বাহিরের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 9 ও 10 cm। 0·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে উহার ঠিক অর্ধেক ডুবিয়া থাকে। গোলক যে পদার্থে তৈয়ারী তাহার ঘনত্ব কত? যে তরলে গোলক ঠিক পূর্ণ নিমজ্জিত হইবে, তাহার ঘনত্ব কত? [উঃ 1·4 g/cm^3]

11. নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও:—

(ক) শ্বাস লইয়া ও শ্বাস ছাড়িয়া জলের ভিতর কোন্ অবস্থায় তোমার দেহের বেশী অংশ জলের বাহিরে থাকিবে? কারণ বুঝাও।

(খ) জাহাজ সমুদ্রে ডুবিলে উহা একেবারে তলায় চলিয়া যায়, না মাঝখানে কোথাও থাকে? কারণ বল।

(গ) নদীর জলে কোন সাবমেরিনের চূড়ার (tower-এর) ঠিক মাথা পর্যন্ত জলের নিচে ছিল। ঐ সাবমেরিন সমুদ্রজলে গেলে উহার অবস্থানের কি পরিবর্তন হইবে বল।

12. চাপ ও ঘাত (thrust)-এ প্রভেদ কি? 'কোন বিন্দুতে চাপ' বলিতে কি বুঝায়?

20 kg ওজনের একটি টেবিল সমান ভাবে চারটি পায়ার উপর দাঁড়ান আছে। প্রত্যেক পায়ার প্রস্থচ্ছেদ 25 cm^2 হইলে পায়াতে উর্ধ্বঘাত ও পায়ার কোন বিন্দুতে চাপ কত?

[উঃ 5 kg ; চাপ = 0·2 kg/cm^2]

13. তরলের সংস্পর্শে অবস্থিত কোন তলের উপর তরল তলের অভিলম্বে চাপ প্রয়োগ করে ইহা কিভাবে প্রমাণ করিবে? তরলের ভিতরে কোন কল্পিত তল সম্বন্ধে ইহা প্রযোজ্য কি না বুঝাইয়া বল।

'তরলের ভিতরে কোন বিন্দুতে চাপ সকলদিকে ক্রিয়া করে' এই কথাটির অর্থ বুঝাইয়া বল।

14. স্থির তরলের ভিতরে কোন বিন্দুতে চাপের মান কত বাহির কর। তরলের ভিতরে অবস্থিত একই অনুভূমিক তলের সকল বিন্দুতে চাপ সমান ইহা কিভাবে প্রমাণ করিতে পার?

'অনুভূমিক' ও 'উল্লম্ব' কথা দুইটির সংজ্ঞা কি?

15. একটি খাড়া U-নলে কিছু পারা ঢালা আছে। উহার দুই বাহুতে দুইটি তরল ঢালিয়া তরল দুইটির ঘনত্ব কি ভাবে তুলনা করিবে? বাহু দুইটির প্রস্থচ্ছেদ সমান হওয়া দরকার কি না বুঝাইয়া বল।

[সংকেত: নল খাড়া রাখিয়া দুই বাহুতে তরলের পরিমাণ এমন কর যে উভয় বাহুতে পারাপৃষ্ঠ একই অনুভূমিক তলে থাকে। এক নলে পারার উপর চাপ $h_1 \rho_1 g$ ও অন্য নলে $h_2 \rho_2 g$। ইহারা সমান।

বেশী সরু না হইলে বাহু দুইটির প্রস্থচ্ছেদ সমান হওয়ার দরকার নাই, কারণ চাপ প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে না। প্রস্থচ্ছেদ কম হইলে পৃষ্ঠটান (Surface tension)-এর ক্রিয়ায় তরল পৃষ্ঠ বাঁকা হয়।]

'তরল নিজ তল খুঁজিয়া লয়' (A liquid finds its own level), এ কথাটির অর্থ কি? সহরে জলসরবরাহের সঙ্গে ইহার কি সম্পর্ক আছে? (3-6 বিভাগের (খ) অংশ দেখিয়া উত্তর ঠিক কর।)

16. প্লবতা (buoyancy) কাহাকে বলে? তরলে ডুবান কোন বস্তুর উপর স্থানচ্যুত তরলের ওজনের সমান উর্ধ্ববল ক্রিয়া করে ইহা কি ভাবে প্রমাণ করিতে পার? (3-3 ও 3-3.1 বিভাগ দেখ।)

17. প্যাস্কালের চাপ সঞ্চালন সূত্রটি কি? উহার সাহায্যে কম বল প্রয়োগ করিয়া বেশী বলের ক্রিয়া কি ভাবে পাওয়া যায় বুঝাও। ইহাতে শক্তিসংরক্ষণ সূত্র ভগ্ন হয় কি না বুঝাও।

18. হাইড্রলিক প্রেসের ক্রিয়া বুঝাইতে একটি ছবি আঁক, এবং প্রেসের ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। লিভারের ক্রিয়া ধরিয়া মোট যান্ত্রিক সুবিধা কত হয় হিসাব কর। প্রেসের কয়েকটি ব্যবহারের কথা বল।

19. তরলের কোন বিন্দুতে চাপ = বিন্দুর গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষীয় ত্বরণ, ইহা প্রমাণ কর। '30 ইঞ্চি পারার চাপ' বলিতে কি বুঝায়? পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6 ও জলের ঘনত্ব 62·4 lb/ft³ হইলে প্রতি in²-এ ঐ চাপের মান কত? [উঃ 14·7 lb/in²]

20. 76 cm গভীর পারার নিচে চাপ কত? জলের কত গভীরতায় একই চাপ পাওয়া যাইবে? (পারার ঘনত্ব = 13·6 g/cm³)। [উঃ চাপ = 1034 g-wt/cm²; 1034 cm]

কোন সহরে জল সরবরাহের চৌবাচ্চা মাটি হইতে 30 m উঁচুতে। এক বাড়ীতে জলের কল খুলিলে ঘর্ষণের জন্য 10 m উচ্চতার জলের চাপ নষ্ট হয়। ঐ বাড়ীতে মাটি হইতে 8 m উপরের কলে জলের চাপ কত? [উঃ 12 m জলের চাপ, অর্থাৎ 1·2 kg-wt/cm²।] এই কলের মুখের ব্যাস 1·2 cm হইলে, নলের মুখে কত বল প্রয়োগ করিলে প্রবাহ বন্ধ হইবে? [উঃ প্রায় 1·56 kg-wt]

উপরের কলের চেয়ে নিচের একই ছেদের কলে বেশী জল পাওয়া যায় কেন?

21. কোন U-নলের খানিকটা অংশ পারায় ভরা। উহার এক নলে 1·10 আপেক্ষিক গুরুত্বের লবণ-জল ঢালিয়া U-নলের দুই বাহুতে পারার তলের পার্থক্য 1 cm করা গেল। লবণ জলের গভীরতা কত? পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6। [উঃ 12·4 cm]

3-11. বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure)। বায়ুমণ্ডলই একমাত্র উদাহরণ যেখানে মুক্ত গ্যাস কেবল অভিকর্ষের ক্রিয়ায় সাম্যে আছে। বদ্ধ-পাত্রে দেওয়ালের প্রতিক্রিয়া আসিয়া পড়ে।

বায়ুমণ্ডলের কোথাও সুষম প্রস্থচ্ছেদের একটি খাড়া (vertical) বেলন কল্পনা করা যাক। উহার নিচের তল অনুভূমিক, প্রস্থচ্ছেদ a এবং উপরের দিকে উহা বায়ুমণ্ডলের সীমান্ত পর্যন্ত প্রসারিত। বেলনের উচ্চতা h হইলে এবং বেলনের ভিতরের বায়ুর গড় ঘনত্ব ρ হইলে, বেলনের ভিতরের বায়ুর ওজন $W = ha\rho g$। a তল এই ওজন বহন করে বলিয়া a-তলের কোন বিন্দুতে বায়ুমণ্ডলের চাপ $P = W/a = h\rho g$। (h গভীরতার কোন তরলের চাপের সঙ্গে ইহার সাদৃশ্য দেখ।)

বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure) বলিতে 1 cm² প্রস্থচ্ছেদের এবং সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বতম অঞ্চল অবধি প্রসারিত একটি কল্পিত বেলনে যে পরিমাণ বায়ু আছে তাহার ওজন বুঝায়। সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতার সঙ্গে ইহা কমে। তরলের কোন বিন্দুতে চাপের মত বায়ুমণ্ডলের চাপও সর্বমুখী, অর্থাৎ তল যেদিকেই মুখ করিয়া থাকুক, চাপ তাহার অভিলম্বে।

3-11.1. বায়ুমণ্ডলের চাপের মান (Measure of atmospheric pressure)। বায়ুমণ্ডলের চাপ যে পারাস্তম্ভের চাপের সমান তাহার উচ্চতা দিয়াই বায়ুর চাপ মাপা হয়। সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে উপরের দিকে চাপ কমে। একই স্থানে আবহাওয়ার সঙ্গে চাপের সামান্য পরিবর্তন হয়; বৎসরের বিভিন্ন ঋতুতেও চাপের অল্প তফাত হয়। দিনের বিভিন্ন সময়েও একটু তফাত পাওয়া যাইতে পারে।

এই সকল পরিবর্তনজনিত অসুবিধা এড়াইতে 'এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ' (Pressure of one standard atmosphere) বলিয়া চাপের একটি মান ঠিক করা হইয়াছে। **এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ** বলিতে 0°C উষ্ণতায় 45° অক্ষাংশে গড় সমুদ্রপৃষ্ঠে 76 cm উঁচু পারাস্তম্ভের ঔদচাপ (hydrostatic pressure) বুঝায়। এই চাপ $P_0 = h\rho g = 76\rho g$। ρ (= পারার ঘনত্ব) উষ্ণতার উপর নির্ভর করে বলিয়া সংজ্ঞায় উষ্ণতার উল্লেখ করিতে হইয়াছে। অভিকর্ষীয় ত্বরণ g সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতার উপর নির্ভর করে বলিয়া সংজ্ঞায় গড় সমুদ্রপৃষ্ঠ বলিতে হইয়াছে। বৃটিশ পার্লামেন্টের একটি আইনে ইংলণ্ডের কর্ণওয়ালের নিউলিন (Newlyn) নামক স্থানে সমুদ্রে জোয়ার ও ভাঁটার মধ্যে সমুদ্রপৃষ্ঠের গড় মানকে গড় সমুদ্রপৃষ্ঠ বলিয়া সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে।

বর্তমানে প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের সংজ্ঞা অন্যভাবে দেওয়া হয়। বলা হয় **'প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে 1,013,250 dyn/cm² চাপ বুঝায়'**। আগের সংজ্ঞার সঙ্গে মিলাইলে ইহাতে প্রায় $h = 76$ cm, $\rho = 13{\cdot}5951 \text{g/cm}^3$ এবং $g = 980{\cdot}665 \text{ cm/s}^2$ হয়। বিভিন্ন স্থানে g-র মান আলাদা বলিয়া তুলনার সুবিধার জন্য g-র উপরোক্ত মানকে 'প্রমাণ' (standard) ধরা হয়। নূতন ও পুরাতন সংজ্ঞায় প্রভেদ অধিকাংশ কাজেই উপেক্ষণীয়।

সাধারণ কাজে আমরা বায়ুমণ্ডলের চাপ $P_0 = h\rho g$ সমীকরণে $h = 76$ cm, $\rho = 13{\cdot}6 \text{ g/cm}^3$ এবং $g = 980 \text{ cm/s}^2$ ধরি। ইহাতে

$$P_0 = 76 \text{ cm} \times 13{\cdot}6 \text{ g/cm}^3 \times 980 \text{ cm/s}^2 = 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ সিজিএস্ একক}$$
$$= 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2 \text{ হয়।}$$

অভিকর্ষীয় এককে এই মান প্রকাশ করিলে

$$P_0 = h\rho = 76 \times 13{\cdot}6 \text{ g-wt/cm}^2 = 1034 \text{ g-wt/cm}^2 \text{ হইবে।}$$

এফপিএস্ এককে $h = 30$ in ধরা হয়। এক্ষেত্রে অভিকর্ষীয় এককে

$$P_0 = h\rho = 30 \text{ in} \times \frac{13{\cdot}6 \times 62{\cdot}4 \text{ lb-wt}}{12 \times 12 \times 12 \text{ in}^3} = 14{\cdot}7 \text{ lb-wt/in}^2 \text{।}$$

প্রশ্ন। 300 মিটার জলের নিচে জলের চাপ কত বায়ুমণ্ডল চাপের সমান? ঐখানে মোট চাপ কত?

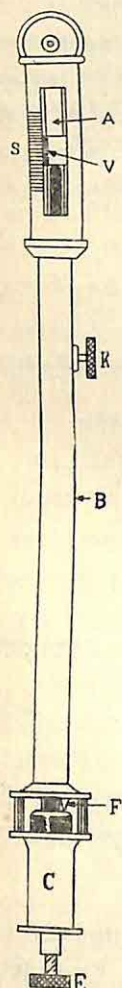
[সমাধান—নির্ণেয় চাপ $P = h\rho/76\rho = 30{,}000/76 = 398{\cdot}4$ প্রমাণ বায়ুমণ্ডল। মোট চাপ ইহার চেয়ে এক বায়ুমণ্ডল বেশী, কারণ জলের উপর বায়ুর চাপ আছে।]

আবহবিজ্ঞানে (Meteorology-তে) বায়ুচাপ মিলিবার (millibar)-এ প্রকাশ করা হয়। 1 millibar (mb) = 1000 dyn/cm²। প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ 1013 mb = 1·013 bar। (1 bar = 10^6 dyn/cm²)

3-11.2. জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা (Height of the water barometer)। পারাস্তম্ভের উচ্চতা দিয়া বায়ুচাপ না মাপিয়া জলস্তম্ভের উচ্চতা দিয়া উহা মাপিলে বায়ুমণ্ডলের চাপ কত উঁচু জলস্তম্ভের সমান হইবে? 76 cm পারাস্তম্ভের চাপ 76 × 13·6 cm জলস্তম্ভের চাপের সমান। এই মান 1034 cm, অর্থাৎ প্রমাণ

বায়ুমণ্ডলের চাপ নলে জলকে 1034 cm = 10·34 m তুলিয়া রাখিতে পারিবে। এফপিএস্ এককে প্রকাশ করিলে উহার মান হইবে 30 × 13·6 ইঞ্চি = প্রায় 34 ft। বায়ুচাপ জলকে প্রায় 34 ফুট তুলিতে পারে। কিন্তু বদ্ধনলে জল এতটা উঠিবে না, কারণ নলের উপরের অংশে টরিচেল্লীয় শূন্যস্থানে জলীয় বাষ্প থাকিবে। এই বাষ্প নলের জলের উপর চাপ দিয়া উহাকে নামাইতে চেষ্টা করিবে। 30°C উচ্চতায় এই চাপ 3·2 cm পারার চাপের বা 3·2 × 13·6 = 43·5 cm জলের চাপের সমান। অতএব জলীয় বাষ্পের জন্য নলে জল 34 ft না উঠিয়া প্রায় দেড় ফুট কম উঠিবে।

প্রশ্ন। ইংলণ্ডের কেনসিংটন মিউজিয়ামে একটি গ্লিসারিন ব্যারোমিটার আছে। গ্লিসারিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·26 হইলে, প্রমাণ অবস্থায় গ্লিসারিন ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? [উঃ 820 cm]

চিত্র 3·6

3-11.3. সমসত্ত্ব বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা (Height of the homogeneous atmosphere)। বায়ুর ঘনত্ব উপরের দিকে না কমিয়া সকল স্থানেই যদি এস্‌টিপিতে উহার ঘনত্বের মানের সমান হইত, তাহা হইলে যে বায়ুস্তম্ভের চাপ প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়, তাহার উচ্চতাকে 'সমসত্ত্ব বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা' বলে। এই উচ্চতাকে h cm ধরিলে এবং এস্‌টিপিতে বায়ুর ঘনত্ব 0·001293 g/cm³ ধরিলে $h \times 0{\cdot}001293 = 76 \times 13{\cdot}6$ হইবে। ইহা হইতে পাই

$$h = \frac{76 \times 13{\cdot}6}{0{\cdot}001293}\ \text{cm} = 7{\cdot}997 \times 10^5\ \text{cm} = \text{প্রায় } 8\ \text{km}\ ।$$

3-12. ব্যারোমিটার (Barometer)। ব্যারোমিটার বলিতে বায়ুচাপ মাপার যন্ত্র বুঝায়। বায়ুচাপ যত উঁচু তরলস্তম্ভকে ঠেলিয়া তুলিয়া রাখিতে পারে তাহার উচ্চতা দিয়াই চাপ মাপা হয়। এ কাজে সাধারণত পারাই ব্যবহার করা হয়। পারার সুবিধা হইল

(১) পারাস্তম্ভের উচ্চতা তেমন বেশী নয় (প্রায় 76 cm);

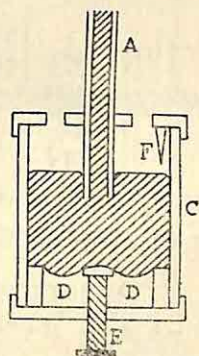
(২) ইহা সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়, এবং ইহার বাষ্পচাপ খুব কম (ঘরের উষ্ণতায় প্রায় 10^{-3} mm পারাস্তম্ভের চাপের সমান। জলের বাষ্পচাপের সঙ্গে তুলনা করিয়া দেখ।)

(৩) উষ্ণতার সহিত পারার ঘনত্বের পরিবর্তন সূক্ষ্মভাবে মাপা আছে।

ব্যারোমিটার একাধিক রকমের আছে। নিচে আমরা বহুব্যবহৃত সূক্ষ্ম একটি ব্যারোমিটারের কথা বলিলাম।

3-12.1 ফর্টিনের ব্যারোমিটার (Fortin's barometer)। নানারকম ব্যারোমিটার বা চাপমান যন্ত্রের মধ্যে

ফর্টিনের উদ্ভাবিত যন্ত্রটিই সূক্ষ্ম মাপনের পক্ষে সবচেয়ে সুষ্ঠু। টরিচেল্লির পরীক্ষার উপরেই ইহার ক্রিয়া প্রতিষ্ঠিত। 3·6 চিত্রে যন্ত্রের গঠন দেখান হইয়াছে। চিত্রের C, পারায় ভরা একটি পাত্র ; ইহার সঙ্গে বায়ুমণ্ডলের যোগ আছে। C-র উপরে একমুখ বন্ধ একটি পারাভরা নল (A) উলটান আছে। উভয়কে ঘেরিয়া একটি ধাতব নল B থাকে। B-র উপরের অংশে S স্কেল কাটা আছে। B নলের উপরের দিকে খানিকটা অংশ লম্বালম্বি কাটা। কাটা অংশের জন্য A নলের ভিতরের পারাস্তম্ভের উপরের মাথা দেখা যায়। তা'ছাড়া ঐ কাটা অংশে একটি ভার্নিয়ার স্কেল V ওঠানামা করিতে পারে। ভার্নিয়ার স্কেল মূল স্কেল S-এর গা ঘেঁষিয়া ওঠে নামে। C পাত্রের উপরের দেওয়ালে লাগান ছুঁচাল একটি কাঁটার (3·7 চিত্রের F) সূচীমুখ হইতে S স্কেলের শূন্যদাগ আরম্ভ। C পাত্রের পারার নিচের অংশ চামড়ায় তৈয়ারী ; চামড়ার তলায় একটি স্ক্রু E ঠেকান। স্ক্রু ঘুরাইয়া C-র পারার পিঠ F-এর সূচীমুখের সংস্পর্শে আনা হয়।

বায়ুর চাপ মাপিতে প্রথমে E স্ক্রু ঘুরাইয়া C পাত্রের পারার পিঠ F-এর সূক্ষ্ম প্রান্তের সংস্পর্শে আনা হয়। তাহার পর K স্ক্রু ঘুরাইয়া V ভার্নিয়ারকে A-নলের পারার উপরের উত্তল (convex) পিঠের স্পর্শকের (tangent-এর) অবস্থানে আনা হয়। এই অবস্থায় S ও V-র পাঠ হইতে বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান পারাস্তম্ভের উচ্চতা পাওয়া যায়। ব্যারোমিটারের উষ্ণতা দেখিবার জন্য উহার সঙ্গে একটি থার্মমিটার লাগান থাকে। পারাস্তম্ভের উচ্চতার যে মান পাওয়া যায় তাহা ব্যারোমিটারের উষ্ণতায়। দরকার হইলে এই পাঠকে 0°C-তে উহা কি হইত সেই মানে পরিণত করা হয়।

চিত্র 3·7

3-12.2. উচ্চতার সঙ্গে চাপের পরিবর্তন। সমুদ্র পৃষ্ঠের কাছে প্রতি 11 মিটার উচ্চতার সঙ্গে বায়ুচাপ এক মিলিমিটার পারা, বা 90 ফুটে 0·1 ইঞ্চি পারা পরিমাণ কমে। কোন জায়গায় h উচ্চতার প্রভেদে চাপের পরিবর্তন p হইলে $p = h\rho g$। ρ দুই তলের মধ্যে বায়ুর গড় ঘনত্ব।

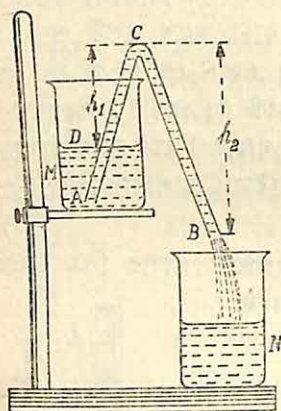
উদাহরণ। (১) কোন উঁচু বাড়ীর নিচের তলায় বায়ুচাপ 75·85 cm পারা ; এবং ছাদে বায়ুচাপ 75·63 cm পারা। ঐ স্থানে বায়ুর গড় ঘনত্ব 0·00125 g/cm³ হইলে, বাড়ীটি কত উঁচু ?

[সমাধান—এক্ষেত্রে $p = 75{\cdot}85 - 75{\cdot}63 = 0{\cdot}22$ cm পারা। ইহা 1 cm² ছেদের যে বায়ুস্তম্ভের ওজনের সমান তাহার উচ্চতা h হইলে, $0{\cdot}22\text{cm} \times 13{\cdot}6\ \text{g/cm}^3 = h \times 0{\cdot}00125\ \text{g/cm}^3$ বা $h = 23{\cdot}9$ মিটার।]

(২) কোন পাহাড়ের উপরে বায়ুচাপ পাহাড়ের নিচের সমতলে চাপের চেয়ে 10 cm পারা পরিমাণ কম। বায়ুর গড় ঘনত্ব 0·00125 g/cm³ হইলে পাহাড়ের উচ্চতা কত ? (জল সাপেক্ষে পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব = 13·6)।

[সমাধান—উপরের প্রশ্নের মত।]

3-13. কয়েকটি উদ ও বায়ব্য যন্ত্রের কথা। (Some hydrostatic and pneumatic appliances)। এই বিভাগে আমরা সাইফন (siphon) এবং কয়েকটি পাম্পের কথা বলিব। উহাদের ক্রিয়া তরলের এবং বায়ুর চাপের উপর নির্ভর করে।

3-13.1. সাইফন (Siphon)। না ঢালিয়া উপরের কোন পাত্র হইতে নিচের কোন পাত্রে তরল স্থানান্তরিত করিতে সাইফন ব্যবহার করা হয়। মোটামুটি U-আকারে বাঁকান, কিন্তু অসমান বাহুর যে কোন নলই সাইফনের কাজ করিতে পারে (3·8 চিত্রের ACB নল)। খাটো বাহু (AC) উপরের তরলে ডুবান থাকে। লম্বা বাহু (CB)-র খোলা মুখ দিয়া উপরের পাত্র হইতে তরল বাহির হয়। ইহার জন্য সাইফন নলটিকে প্রথমে তরলে পূর্ণ করিতে হয়। তাহার পর দুই খোলা মুখ বন্ধ করিয়া নলটি যেমন বলা হইয়াছে ঐ রকম বসাইয়া মুখ দুইটি খুলিয়া দিলে নিচু মুখ হইতে তরল বাহির হইতে থাকিবে।

চিত্র 3·8

সাইফনের ক্রিয়া। ধরা যাক উপরের পাত্র M-এর তরল পৃষ্ঠ D হইতে সাইফন নলের ঊর্ধ্বতম বিন্দু C-র উচ্চতা h_1, এবং C হইতে লম্বা বাহুর নিচ প্রান্ত B-র খাড়া দূরত্ব h_2। B-মুখ সাময়িকভাবে বন্ধ আছে মনে করা যাক। C-মুখ খোলা।

D-তে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ P। নলে তরলের ঘনত্ব ρ হইলে C বিন্দুতে চাপ $P-h_1\rho g$। B-মুখ বন্ধ থাকা কালে B-তে চাপ C-তে চাপের চেয়ে $h_2\rho g$ বেশী। অতএব

বন্ধ অবস্থায় B মুখে নিচের দিকে চাপ $= P - h_1\rho g + h_2\rho g = P + (h_2 - h_1)\rho g$।

B-মুখ খুলিয়া দিলে বায়ুর চাপ P, B মুখে উপরের দিকে ক্রিয়া করিবে। তখন B-মুখে চাপ হইবে নিম্নমুখী চাপ − ঊর্ধ্বমুখী চাপ $=\{P+(h_2-h_1)\rho g\}-P$ $=(h_2-h_1)\rho g$। এই নিম্নমুখী চাপের ক্রিয়ায় B-মুখ দিয়া তরল বাহির হইতে থাকিবে।

তরল বাহির হওয়া মাত্রই নলে আংশিক শূন্যতা হয়। 'প্রকৃতি (Nature) শূন্যতা (vacuum) পরিহার করে এবং যাহা পায় তাহা দিয়াই শূন্যস্থান ভরিয়া দিতে চায়'—এই তথ্য অনুসারে বায়ুর চাপ M পাত্র হইতে নলে তরল ঢুকাইয়া দিবে। এইভাবে M হইতে তরল ক্রমশ স্থানান্তরিত হইতে থাকিবে। M পাত্রে তরল-তল A পর্যন্ত নামিয়া আসিলে সাইফনের ক্রিয়া বন্ধ হইবে, কারণ তখন A ও B উভয় প্রান্তে চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ।

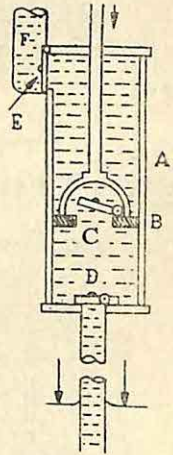
উপরের আলোচনা হইতে দেখা যায় সাইফনের ক্রিয়া নিচে বলা পরিস্থিতিগুলিতে বন্ধ হয়ঃ

(১) উপরের পাত্রে জল-তল যখন সাইফনের খাটো নলের মুখ পর্যন্ত নামে।

(২) C যদি A হইতে এত উপরে থাকে যে বায়ুচাপ তরলকে C হইতে A পর্যন্ত তুলিতে পারে না। অন্য ভাষায় বলা যায় h_1 উচ্চতা পাত্রের তরলে গঠিত ব্যারোমিটারের উচ্চতা হইতে যদি বেশী হয় তবে সাইফন কাজ করিবে না।

(৩) সাইফন যদি শূন্যস্থানে (in vacuum) থাকে। এই অবস্থায় বায়ুর চাপ ক্রিয়া করিতে পারিবে না বলিয়া সাইফনের কাজ হইবে না।

(৪) $h_2 < h_1$ হইলে সাইফন কাজ করিবে না, কারণ তখন B প্রান্তে উর্ধ্বমুখী চাপ A প্রান্তে চাপের চেয়ে বেশী হইবে।

3-13.2. জল তোলার পাম্প (Lift pump)। নিচ হইতে উপরে জল তুলিতে একাধিক রকম পাম্প ব্যবহৃত হইতে পারে। প্রথমে আংশিক শূন্যতা ও পরে যান্ত্রিক চাপ প্রয়োগ করিয়া যে পাম্প উপরে জল তোলে তাহাকে আমরা **লিফট্ পাম্প** বলি। 3·9 চিত্রের সাহায্যে লিফট্ পাম্পের ক্রিয়া বোঝা যাইবে। A বেলনের ভিতরে B পিস্টন উপর-নিচ করিতে পারে। A-র নিচ হইতে একটি নল জলের আধারে (পুকুর, নদী, মাটির নিচে জল-তল ইত্যাদিতে) ডুবান। A-র উপরের দিকে আর একটি নল F উপরে যেখানে জল উঠিবে সেই পর্যন্ত চলিয়া গিয়াছে। পিস্টনের মাঝখানে একটি ভ্যাল্ভ্ (valve) C ও নিচের নলের মুখে আর একটি ভ্যাল্ভ্ D **কেবল উপরের দিকে** খুলিতে পারে। F নলের মুখে E ভ্যাল্ভ্ কেবল F-এর ভিতরের দিকে খুলিতে পারে। তিনটি ভ্যাল্ভ্ই একমুখী (one way)। পিস্টন দণ্ড একটি লিভারের (Lever-এর) এক প্রান্তে আবদ্ধ। (লিভার প্রথম শ্রেণীর এবং উহার যান্ত্রিক সুবিধা 1-এর বেশী। জটিলতা কমাইবার জন্য ছবিতে লিভার দেখান হয় নাই।)

চিত্র 3·9

পাম্পের ক্রিয়া। পিস্টন নিচ হইতে উপরে তুলিলে C ভ্যাল্ভ্ বন্ধ থাকে ও B-র নিচের অংশে আংশিক শূন্যতা হয়। ইহাতে D ভ্যাল্ভ্ উপরের দিকে খোলে ও নিচের নল হইতে কিছু বায়ু A-তে ঢোকায় নিচের নলে আংশিক শূন্যতা হয়। তখন **বায়ুর চাপে** কিছু জল নিচের নলে ঢোকে। B নিচের দিকে নামাইতে থাকিলে পিষ্ট বায়ুর চাপে C ভ্যাল্ভ্ খুলিয়া যায় ও B-র নিচের দিকের বায়ু উপরে উঠিয়া যায়। এখন B উপরে উঠাইলে আগের ক্রিয়ার আবৃত্তি হয় ও নিচের নলে আরও জল ঢোকে। এইভাবে পাম্প চালাইয়া যাইতে থাকিলে নিচের নল জলে ভরিয়া

যায় ও ক্রমে A-র নিচের অংশে ও পরে C ভ্যাল্‌ভের মধ্য দিয়া জল B-র উপরের অংশে ওঠে। এই অবস্থায় পিস্টন উপরে তুলিলে F নলের E ভ্যাল্‌ভ্ খুলিয়া গিয়া F-এ জল ওঠে। পাম্প চালাইয়া যাইতে থাকিলে F দিয়া জল ক্রমশ উপরে ওঠে।

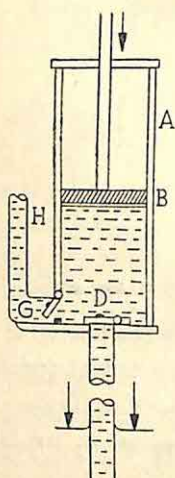
এই পাম্পের ক্রিয়ায় কয়েকটি বিষয় লক্ষণীয় :

(১) পাম্প এবং নিচের জলের আধারের মধ্যে উচ্চতার প্রভেদ জল-ব্যারোমিটারের (Water barometer ; 3-11.2 বিভাগ) উচ্চতার (34 ft বা 10·34 m) চেয়ে কম করিতে হইবে। জলের বাষ্পচাপের জন্য এবং B ও A-র স্পর্শস্থান সম্পূর্ণ বায়ুরোধী (air tight) করিতে না পারায় এই উচ্চতা বড়জোর 28 ft-এর বেশী করা যায় না। করিলে বায়ুচাপ A পর্যন্ত জল ঠেলিয়া তুলিতে পারে না।

(২) E ভ্যাল্‌ভ্ F নলের জলের চাপ বহন করে। F-এ জল বেশীদূর উঠিলে E-র উপর চাপও বাড়ে।

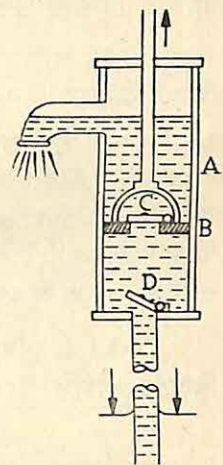
(৩) যে পাম্প চালায় B উপরে তুলিবার সময় তাহাকে এই চাপের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। (পাম্প চালাইতে বৈদ্যুতিক মোটরও ব্যবহার করা হয়।)

(৪) পাম্পে জল ওঠে বায়ু চাপের জন্য, এবং F নল দিয়া জল উপরে ওঠে পাম্প-চালকের অতিরিক্ত বল প্রয়োগের জন্য।

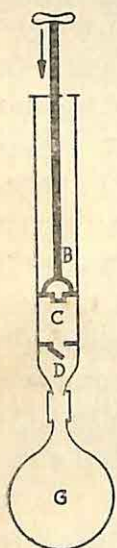
ফোর্স পাম্প (Force pump)। ফোর্স পাম্পও লিফ্‌ট্ পাম্পের মত জল-ব্যারোমিটারের চেয়ে বেশী উচ্চতায় জল তুলিতে পারে। উহার গঠন 3·10 চিত্রে দেখান হইয়াছে। ইহাতে B পিস্টনে কোন ভ্যাল্‌ভ্ লাগান থাকে না। জল উপরে তুলিবার নল H A-বেলনের নিচের দিকে লাগান থাকে। H-এর মুখে G-ভ্যাল্‌ভ্ H-এর ভিতরের দিকে খোলে। জলের আধার হইতে নলের মুখের D ভ্যাল্‌ভ্ লিফ্‌ট্ পাম্পের মত উপরের দিকে খোলে।

চিত্র 3·10

B উপরে উঠিলে DB-র ভিতরের অংশে বায়ুচাপ কমায় D খুলিয়া প্রথমে বায়ু, এবং বার বার ক্রিয়ার পর জল D ঠেলিয়া উপরে ওঠে। তখন B চাপিয়া নামাইলে সেই জল G ভ্যাল্‌ভ্ ঠেলিয়া H-নলে ঢোকে। এইভাবে B বার বার উপর-নিচ করিতে থাকিলে H-নল দিয়া জল ক্রমশ উপরে ওঠে।

এখানেও বায়ুচাপ পাম্পে জল ঢুকায়, এবং পাম্পচালক H নলের জলের চাপের বিরুদ্ধে G ঠেলিয়া নলে জল তোলে।

এই প্রসঙ্গে টিউবওয়েল হইতে যে পাম্পের সাহায্যে সাধারণত জল তোলা হয় তাহার সম্বন্ধে দু-একটি কথা বলা চলে। ইহাকে **সাধারণ পাম্প (Common pump)** বলে। লিফ্‌ট পাম্পের (3·9 চিত্র) F নল বাদ দিয়া E ভ্যাল্‌ভ্‌ না রাখিয়া ঐখানে জল পড়ার মুখ লাগাইয়া দিলেই উহা সাধারণ পাম্পে পরিণত হয় (3·11 চিত্র)। জলের আধার হইতে পাম্পে জল তোলার ক্রিয়া লিফ্‌ট্‌ পাম্পের মতই।

চিত্র 3·11

C-ভ্যাল্‌ভ্‌ এবং B ও A-র বিভেদ-তল সম্পূর্ণ বায়ুরোধী (air tight) হয় না। এজন্য পিস্টন উপরে উঠাইলে ফাঁক দিয়া বায়ু ঢুকিয়া C ও D-র মধ্যের অংশে যথেষ্ট শূন্যতার সৃষ্টি না করিতেও পারে। ফলে D ভ্যাল্‌ভ্‌ খোলে না এবং পাম্পের ক্রিয়া হয় না। পাম্প একটু পুরানো হইলে এই দোষ বাড়ে। এই দোষ দূর করিতে A-বেলনের উপর দিয়া বেলনে কিছু জল ঢালিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে C বায়ুরোধী হয়। এরূপ করাকে 'প্রাইমিং' (priming) বলে।

3-13.3. বায়ুচাপন পাম্প (Compression pump)। বায়ু চাপিয়া কোন পাত্রে বেশী বায়ু ঢুকাইবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। সাইকেলের পাম্প, ফুটবলের পাম্প ইহার উদাহরণ।

চিত্র 3·12

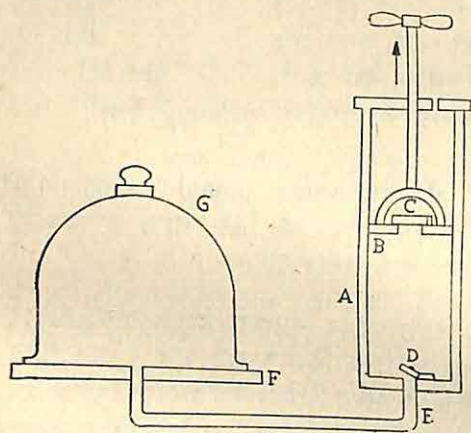
3·12 চিত্রের সাহায্যে চাপন পাম্পের ক্রিয়া বোঝা যাইবে। B পিস্টন উহার বাহিরের বেলনের ভিতরে যাতায়াত করিতে পারে। B-র মাঝখানে C ভ্যাল্‌ভ্‌ ভিতরের দিকে (অর্থাৎ বেলনের সরু মুখের দিকে) খোলে। যে পাত্রে (G) বায়ু চাপিয়া ঢুকাইতে হইবে তাহাকে একটি নল দিয়া পাম্পের সরু মুখের সঙ্গে যোগ করিতে হইবে। পাম্পের সরু মুখ ও বেলনের মাঝখানে একটি ভ্যাল্‌ভ্‌ (D) থাকে। উহা কেবল G-র দিকে খুলিতে পারে। লক্ষ্য কর C এবং D উভয় ভ্যাল্‌ভ্‌ই G-র দিকে খোলে।

পাম্পের ক্রিয়া। ধরা যাক পিস্টন পুরা ভিতরে ঠেলা আছে এবং পাম্পের বেলন ও পাত্র G-তে বায়ু এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে আছে। এখন পিস্টন বাহিরের দিকে টানিলে D ও C-র মধ্যে আংশিক শূন্যতার সৃষ্টি হইবে এবং বাহিরের বেশী চাপ C খুলিয়া CD অংশে কিছু বায়ু ঢুকাইয়া দিবে। ইহার পর পিস্টনে চাপ দিয়া উহা দাবাইলে CD অংশের বায়ু পিষ্ট হওয়ায় উহার চাপ বাড়ে এবং D ভ্যাল্‌ভ্‌ খুলিয়া কিছু বায়ু G-তে যাইতে দেয়। এইভাবে প্রতিবার পিস্টন বাহিরের দিকে টানায় বেলনে

বায়ু ঢোকে এবং পিস্টন চাপায় পিষ্ট বায়ু G-তে ঢোকে। পাম্প ক্রমাগত চালাইতে থাকিলে এইভাবে G-তে বায়ুর পরিমাণ এবং চাপ ক্রমশ বাড়িতে থাকে।

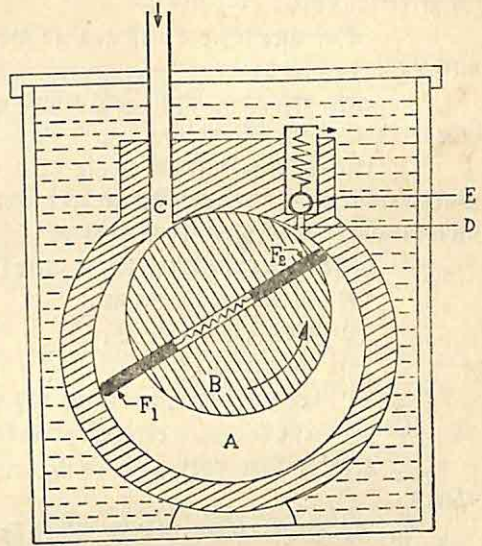
পিস্টন বাহিরে টানাকে 'চোষণ' বা 'শোষণ' ঘাত (suction stroke) এবং ভিতরে ঠেলাকে 'সংনমন', বা 'চাপন' ঘাত (compression stroke) বলে।

উপরে পাম্পের গঠনের বর্ণনা পাম্পের ক্রিয়া বুঝাইবার জন্য। প্রয়োজন বুঝিয়া আসল গঠন, বিশেষ করিয়া ভ্যালভের, বিভিন্ন রকম হয়। যন্ত্রপাতি চালাইবার জন্য উচ্চচাপে বহু পরিমাণ পিষ্টবায়ু পাইতে বিদ্যুৎ বা বাষ্পচালিত পাম্প ব্যবহার করা হয়। গঠনে অন্য রকম হইলেও বাহির হইতে বায়ু নিয়া উহা চাপিয়া পাত্রে ঢুকান হয়। দুটি ভ্যাল্‌ভ্ থাকাও দরকার হয় এবং উহারা **ভিতর দিকে** খোলে।

3-13.4. নির্বাতন পাম্প (Vacuum pump)। কোন পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে ইহা ব্যবহৃত হয়। পিস্টন নির্বাতন পাম্পের গঠন চাপন পাম্প (compression pump)-এর মতই, কিন্তু C ও D উভয় ভ্যাল্‌ভ্ই **বাহিরের দিকে** খোলে। 3·13 চিত্রের সাহায্যে পাম্পের ক্রিয়া বোঝা যাইবে। G পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশন দরকার। মোটা রবারের নল দিয়া উহা নির্বাতন পাম্পের নিচের (সরু) মুখে যোগ করিয়া পাম্প চালাইতে হয়। পিস্টন উপরের দিকে উঠাইলে B ও D-র মধ্যে আয়তন বাড়ায় ঐ অংশে বায়ুচাপ কমে এবং D ভ্যাল্‌ভ্ খুলিয়া G পাত্র হইতে কিছু বায়ু BD অংশে ঢোকে। C ভ্যাল্‌ভ্ তখন বন্ধ থাকে কারণ উহার বাহিরে বেশী চাপ ও নিচে কম চাপ।

চিত্র 3·13

এখন পিস্টন ঠেলিয়া নিচে নামাইলে BD অংশের বায়ু পিষ্ট হওয়ায় উহার চাপ বাড়ে এবং D ভ্যাল্‌ভ্ বন্ধ হয়। পিষ্ট বায়ু C ভ্যাল্‌ভ্ দিয়া বাহির হইয়া যায়। বার বার পিস্টন ওঠানামা করিতে থাকিলে প্রতিবার G হইতে কিছু বায়ু বাহির হওয়ায় উহার চাপ কমিতে থাকে। G-র বায়ুর চাপ যখন আর D ভ্যাল্‌ভ্ ঠেলিয়া খুলিতে পারে না তখন পাম্পের ক্রিয়া বন্ধ হয়।

3-13.5 ঘুরনিপাম্প (Rotary pump)। ঘুরনিপাম্প যন্ত্রটি অপেক্ষাকৃত আধুনিক; ইহা পুরাতন প্রায় সকল পাম্পকে হটাইয়া দিয়াছে। ইহার ক্রিয়া খুব দ্রুত এবং ইহার সাহায্যে অল্প সময়েই চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে 0·01-0·0001 mm পারায় নামাইয়া আনা যায়। পরীক্ষাগারে এবং নানাবিধ শিল্পে ইহার ব্যাপক প্রয়োগ আছে।

গঠন। 3·14 চিত্রে ঘুরনিপাম্পের গঠন দেখান হইয়াছে। চিত্রের A বেলন আকারের ইস্পাতের ফাঁপা একটি কুঠরি। B বেলন এই কুঠরির ভিতরে A-র দেওয়াল স্পর্শ করিয়া নিজ অক্ষে বেগে ঘুরিতে পারে। C পথে বায়ু A-তে ঢুকিতে, এবং D পথে বাহির হইয়া যাইতে পারে। যে পাত্র বায়ুশূন্য করিতে হইবে তাহা রবারের মোটা নল দিয়া পাম্পের C নলের সঙ্গে যোগ করা হয়। এই পাত্রের বায়ু C দিয়া A-তে ঢোকে। D ছিদ্র স্প্রিং-চালিত ভ্যাল্‌ভ্ E দিয়া বন্ধ থাকে। A-তে বায়ুচাপ একটা সীমা ছাড়াইলে E খুলিয়া যায় ও বায়ু D পথে বাহির হয়। B-র দেওয়ালে কাটা গর্তে কোন ব্যাসের দুই বিপরীত দিকে দুখানা পাত (F_1, F_2) স্প্রিং-এর সাহায্যে A-র গায় চাপিয়া থাকে। A ও B-র স্পর্শস্থান C ও D-র মধ্যে সংযোগ বিচ্ছিন্ন রাখে। B ঘুরিলে F_1, F_2 A-এর গায়ে লাগিয়া থাকিয়া ঘুরিতে থাকে। যন্ত্রটি তেলে ডুবান থাকে।

চিত্র 3·14

ক্রিয়া। ইলেকট্রিক মোটরের সাহায্যে বেলন B-কে ঘুরান হয়। মনে কর চিত্রের তীর চিহ্নের দিকে (বামাবর্তে) উহা ঘুরিতেছে। B ঘুরিতে থাকিলে C পার হইবার পর F_1-এর পিছনের অংশের আয়তন বাড়িবে, এবং C পথে পাত্র হইতে বায়ু এখানে আসিবে। এই সময়ে F_2-র সম্মুখের অংশের আয়তন কমিবে এবং ঐ অংশের বায়ুর চাপ বাড়িবে। চাপ যথেষ্ট বাড়িলে E ভ্যাল্‌ভ্ ঠেলিয়া এই বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। F_2 ঘুরিয়া C পার হইয়া আসিলে অনুরূপ ক্রিয়া আবার ঘটিবে। B-র প্রতি পাকে D পথে দুইবার বায়ু বাহির হইবে। এই ভাবে পাম্পের ক্রিয়া চলিতে থাকিবে।

বাহিরের বায়ু যাহাতে A-তে ঢুকিতে না পারে সেজন্য সমস্ত যন্ত্রটি তেলে ডুবান থাকে। ইহাতে যন্ত্রের সচল অংশগুলিও তেলে ভিজা থাকে এবং ঘর্ষণে উহাদের ক্ষয় হয় না।

গঠনে সামান্য পরিবর্তন করিয়া ইহাকে **চাপন পাম্প (Compression pump)**-এ পরিণত করা যায়। তখন C মুখ বায়ুতে খোলা থাকে। E ভ্যাল্‌ভ্ না রাখিয়া D-র সঙ্গে যুক্ত নল পথে যে পাত্রে বায়ু চাপিতে হইবে তাহাতে পিষ্ট বায়ু ঢুকিতে দেওয়া হয়।

বায়ুমণ্ডল, সাইফন ও পাম্প সংক্রান্ত অনুশীলনী

1. 'বায়ুমণ্ডল' এবং 'বায়ুর চাপ' বলিতে কি বুঝায়? বায়ু চাপ দেয় ইহা দেখাইবার দুটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

2. সমুদ্রপৃষ্ঠের কাছাকাছি বায়ুর চাপ প্রায় 76 cm পারার চাপের সমান ইহা কি ভাবে দেখাইতে পার? এই চাপ যে সত্য সত্যই বায়ুর চাপের জন্য তাহা কি ভাবে বুঝাইবে?

3. বায়ুমণ্ডল চাপ দেয় কেন? তরলের চাপের সঙ্গে ইহার কি মিল আছে? 'বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 cm পারার চাপের সমান'-এ কথায় কি বুঝায়? অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g = 980$ cm/s² হইলে, সিজিএস্ এককে (অর্থাৎ dyn/cm² এককে) ঐ চাপের মান কত? পারার ঘনত্ব 13·6 g/cm³।

4. এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডলের চাপ (standard atmospheric pressure) বলিতে কি বুঝায়? জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে?

5. ফর্টিনের ব্যারোমিটারের একটি সরল ছবি আঁক, এবং যন্ত্রের বর্ণনা দাও। উহা দিয়া বায়ু চাপ মাপিতে হইলে কি করিতে হইবে?

6. একটি বাড়ী 30 m উঁচু। সেখানে বায়ুর গড় ঘনত্ব 1·25 g/litre। বাড়ীর নিচতলা ও ছাতে চাপের প্রভেদ কত mm পারা? [উঃ 2·76 mm]

7. গ্যাসভরা বেলুন খানিকটা উচ্চতায় উঠিয়া আর ওঠে না। জলভরা সাবমেরিন জলে সম্পূর্ণ তলাইয়া যায়। বেলুন বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত কেন ওঠে না, বা সাবমেরিন বেলুনের মত জলে খানিকটা নামিয়া সেখানেই থাকে না কেন ব্যাখ্যা কর।

8. নিচের বিভিন্ন ক্ষেত্রে ব্যারোমিটারের পাঠের কি পরিবর্তন হইবে বুঝাইয়া বল :

(ক) ব্যারোমিটার নল সুষম নয় ;

(খ) ব্যারোমিটার নল খুব সরু ;

(গ) নল কাত করা হইল ;

(ঘ) নলে পারা ভরিবার সময় উহাতে একটু বায়ুও ঢুকিয়াছে ;

(ঙ) নলের ভিতরে এক ফোঁটা জল ঢুকিয়া গিয়াছে।

9. সাইফনের ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। কি কি অবস্থায় উহার ক্রিয়া হয় না তাহার কারণ ব্যাখ্যা করিয়া বল।

10. 'প্রকৃতি শূন্য পরিহার করে' ইহা বলিতে কি বুঝায়? যে কোন পাম্পের ক্রিয়ার সঙ্গে এই উক্তির সম্পর্ক বুঝাইয়া বল।

11. জল-ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত? সাধারণ পাম্পে তাহার চেয়ে উঁচুতে জল তোলা যায় না কেন? আরও উপরে জল তুলিবার কোন প্রকার পাম্পের বর্ণনা দাও ও ক্রিয়া বল।

12. কোন পাত্রে বায়ুচাপ বাড়াইতে বা কমাইতে কি প্রকার পিস্টন পাম্প ব্যবহার করিবে তাহার সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও ও ক্রিয়া বল।

13. পাম্পের বেলনের গায়ে কোন ছেঁদা থাকিলে উহার ক্রিয়ার কিছু পরিবর্তন হইবে কি না বুঝাইয়া বল।

৪ পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা
(Surface tension and Viscosity)

4-1. তরলের পৃষ্ঠটান। একই পদার্থের বিভিন্ন অণুর মধ্যে আকর্ষক বল ক্রিয়া করে। এই বলই পদার্থের বিভিন্ন অংশকে ধরিয়া রাখে, এবং ইহাকে সংসক্তি (Cohesion) বলে। এক পদার্থ অন্য পদার্থের সংস্পর্শে থাকিলে স্পর্শতলের দুই পাশের দুই বিভিন্ন প্রকার অণুও পরস্পরকে টানে। এই বলকে আসঞ্জন (Adhesion) বলে। কাচের অণুগুলির সংসক্তির জন্য কাচের থালার আকার ঠিক থাকে, থালা ভাঙ্গিয়া পড়ে না। থালার গায়ে তেল লাগিয়া থাকে কাচ ও ও তেলের অণুগুলির আসঞ্জনের জন্য। সংসক্তি বা আসঞ্জন মহাকর্ষজনিত বল নয় ; ইহাদের ক্রিয়ার পাল্লা প্রায় 10^{-7}cm অঞ্চলের মধ্যে সীমাবদ্ধ।

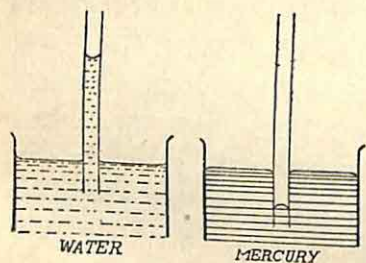
সংসক্তির জন্য তরলের আচরণে এক বৈশিষ্ট্য দেখা যায়। **টানা দেওয়া পাতলা রবারের পাত যেমন গুটাইয়া ছোট হইতে চায়, সংসক্তির জন্য তরলের পৃষ্ঠও তেমনিই গুটাইয়া ছোট হইতে চায়। তরলের এই ধর্মকে পৃষ্ঠটান বলে।** একই ভরের বস্তুকে বিভিন্ন আকার দিলে, বিভিন্ন আকারে উহার পৃষ্ঠের মোট ক্ষেত্রফল বিভিন্ন হয়। আকার গোলক হইলে পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সব চেয়ে কম হয়। সংসক্তির ফলে তরল তাহার ক্ষেত্রফল কমাইয়া সব চেয়ে কম করিতে চায় বলিয়া, অন্য বল ক্রিয়া না করিলে তরল গোলকের আকার নেয়। পারার ছোট ছোট কণাগুলি আকারে প্রায় সম্পূর্ণ গোল। কণার ভার উহার ভারকেন্দ্র নামাইতে প্রয়াস পায় ; তরল নিজের আকার গোল রাখিতে চায়। এই দুই বিপরীত প্রয়াসের সাম্যাবস্থায় কণার ভারকেন্দ্র একটু নামিয়া আসে এবং কণাকে একটু চেপ্টা দেখায়। বড়গুলি বেশী চেপ্টা হয়, ছোটগুলি কম।

ভারের ক্রিয়া দূর করিতে পারিলে, তরল আকারে গোল হইবে। ইহা দেখাইতে একটি সহজ পরীক্ষা করা যায়। জলপাইয়ের তেলের ঘনত্ব জল আর কোহলের মাঝামাঝি। জলে উপযুক্ত পরিমাণ কোহল মিশাইয়া মিশ্রণের ঘনত্ব ঠিক জলপাইয়ের তেলের সমান করিয়া, খানিকটা তেল উহাতে ফেলিয়া দিলে তেল সম্পূর্ণ গোলকের আকার লইবে। স্থানচ্যুত তরলমিশ্রের ঊর্ধ্ববল তেলের ভারকে সম্পূর্ণ প্রতিমিত করে বলিয়া তরলের আকার গোল হইতে বাধা থাকে না।

কুয়াশার জলকণা আকারে গোল ; বৃষ্টি যখন পড়ে তখন বারিবিন্দুগুলি প্রায় গোল। সীসার গুলি বানাইতে গলান সীসা একটা ছাঁকনির ভিতর দিয়া জলে ফেলা হয়। পৃষ্ঠটানের জন্য তরল সীসা আকারে গোল হয়, এবং জলের মধ্যে পড়িতে জমিয়া কঠিন হয়।

তরলপৃষ্ঠের আচরণ টান করা রবারের পাতলা পাতের মত।

টিসিউ কাগজ (tissue paper)-এ চর্বি বা তেলের স্পর্শহীন ছুঁচ বা ক্ষুরের ব্লেড রাখিয়া কাগজ জলের উপর ভাসাইলে, কাগজ আস্তে আস্তে ডুবিয়া যায় ; কিন্তু ছুঁচ বা ব্লেড জলে ভাসিতে থাকে। ইহা জলের পৃষ্ঠটানের জন্য। অনেক পোকা জলের উপর দিয়া হাঁটিতে পারে। ইহা একই কারণে হয়। জলের পৃষ্ঠটান উহাদের ভার ধারণ করে। যেখানে পোকার পা পড়ে, সেখানে জলের পৃষ্ঠতল একটু নিচু হয়। পা জলের পৃষ্ঠ ভেদ করিয়া নিচে যায় না। টানা দেওয়া রবারের চাদরের উপর কিছু রাখিলে সেখানটা যেমন একটু নিচু হইয়া যায়, এও তাই।

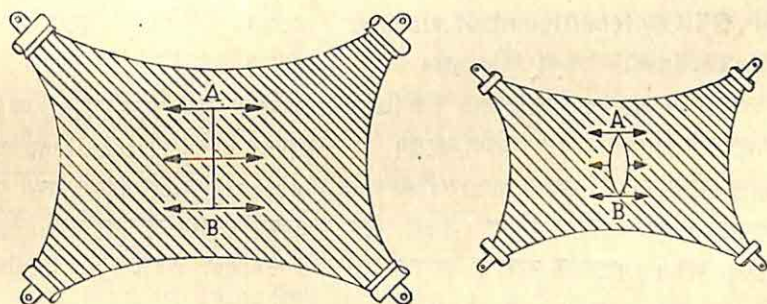
কাচের কৈশিক নল (Capillary tube) জলে ডুবাইলে নলের মধ্যে জল ওঠে। পারায় ডুবাইলে নলের ভিতরে পারা নামিয়া যায় (4·1 চিত্র)। তরলের সংসক্তি এবং তরল ও কাচের আসঞ্জনের প্রভেদ দুইক্ষেত্রে বিভিন্ন হওয়াতে এইরূপ ঘটে। কাচ ও জলের আসঞ্জন জলের সংসক্তির চেয়ে বেশী। সেই জন্য কাচ তাহার গায়ে লাগা জলকণাকে টনিয়া উপরে তোলে। সংসক্তির জন্য এই জলকণা তাহার আশপাশের জলকণাকে সঙ্গে টানিয়া নেয়। এইভাবে নলে জল উঠিতে থাকে। যখন ওঠান জলস্তম্ভের ভার আসঞ্জনের টানের সমান হয় তখন জল আর ওঠে না। নল যত সরু হয়, জল তত উপরে ওঠে। এই কারণে ব্লটিংকাগজ বা স্পঞ্জ জল শোষে, পলতেয় তেল টানে। মাটির সরু ছেঁদা দিয়া নিচের ভিজা মাটি হইতে জল এই কারণে উপরে উঠিয়া উপরের মাটিকে সরস রাখে। বেলেমাটির ছেঁদাগুলি বড় বলিয়া নিচের জল বেশী উপরে উঠিতে পারে না; সেজন্য বেলেমাটির উপরটা শুকনা হয়। সরু নলের ভিতরে তরলের ওঠা বা নামাকে কৈশিকতা (Capillarity) বলে। পারার সংসক্তি আসঞ্জনের চেয়ে বেশী। সংসক্তি নলের কাছের পারার অণুগুলিকে টানিয়া নিচে নামায়।

চিত্র 4·1

সাধারণ অভিজ্ঞতায় পৃষ্ঠটান সম্বন্ধীয় কয়েকটি ব্যাপার। কাটা বা ভাঙ্গা কাচের নলের পাশগুলি খুব ধারাল হয়। তাপে গলাইলে তরল কাচের পৃষ্ঠটানে ধারাল অংশগুলি গোল হইয়া যায়। সাবানগোলা জলের পৃষ্ঠটান জলের চেয়ে কম। যে তরলের পৃষ্ঠটান কম তাহা সহজে ছড়ায়। এই কারণে কোন দ্রবণ স্প্রে করিতে হইলে উহাতে সাবানজল মেশান হয়। রং বা ঝালাই করার রাং ভাল ছড়াইবে কি না তাহা উহার পৃষ্ঠটানের উপর নির্ভর করে। পৃষ্ঠটানের জন্য ছাতা বা তাঁবুর কাপড়ের মধ্য দিয়া জল যায় না। বৃষ্টির সময় ছাতা বা তাঁবুর ভিতরের দিক স্পর্শ করিলে ঐখানে পৃষ্ঠটান কমায় জল ভিতরে ঢোকে।

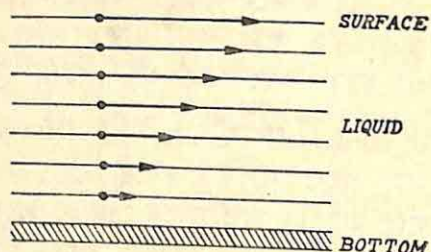
কর্পূরের ছোট ছোট টুকরা পরিষ্কার জলে ফেলিলে উহারা এলোমেলো ভাবে জলের উপর ছুটাছুটি করে। টুকরার কোনাগুলিতে কর্পূর তাড়াতাড়ি গলে, এবং

ঐস্থানে জলের পৃষ্ঠটান কমিয়া যায়। ইহাতে কোনার বিপরীত দিকের জলের পৃষ্ঠটান উহাকে নিজের দিকে টানিয়া আনে। জলের উপর হালকা কোন গুঁড়া ছড়াইয়া দিয়া মাঝখানে এক ফোঁটা কোহল ফেলিলে, কোহলের স্পর্শে জলের পৃষ্ঠটান কমায় গুঁড়াগুলি ঐস্থান হইতে দূরে সরিয়া যায়।

সাবানের ঝিল্লী (film)-এর উপর রেশমী সুতার ফাঁস ফেলিয়া সূচ দিয়া ঝিল্লীর মাঝখান ছেঁদা করিয়া দিলে ঝিল্লীর পৃষ্ঠটানে ফাঁস গোল হইয়া যাইবে। সুতার উপর টান সর্বত্র সমান ও উহার অভিলম্বে বলিয়া ফাঁসের আকার গোল হয়। তরল পৃষ্ঠে কল্পিত একক দৈর্ঘ্যের কোন রেখার আড়াআড়ি যে বল ক্রিয়া করে তাহাই পৃষ্ঠটানের মান। ইহা dyn/cm এককে মাপা হয়। ঘরের উষ্ণতায় জলের পৃষ্ঠটান প্রায় 72 dyn/cm।

[টানা দেওয়া পাতলা রবারের চাদরে কোন কল্পিত রেখার আড়াআড়ি এক পাশ যে অন্য পাশের উপর বল প্রয়োগ করে তাহা চাদর একটু চিড়িয়া দিলেই বোঝা যায়। 4·2 চিত্রে AB এরূপ কল্পিত

চিত্র 4·2

রেখা। AB বরাবর চাদর চিড়িয়া দিলে চিড় বরাবর চাদরের অংশ বিপরীতমুখী বলের ক্রিয়ায় দুই দিকে সরিয়া যায় (4·2*b* চিত্র)। তরল পৃষ্ঠে পৃষ্ঠটানের ক্রিয়া এইরূপ কল্পিত বলের মত।]

4-2. সান্দ্রতা (Viscosity)। প্রবহমান তরল বা গ্যাসের দুই পাশাপাশি স্তরে প্রবাহের বেগের তফাত থাকিলে দ্রুততর স্তর মন্থর স্তরকে দ্রুত করিতে প্রয়াস পায়, ও মন্থর স্তর অন্যটির বেগ কমাইতে চায়। **তরল বা গ্যাসের যে ধর্মের জন্য তাহারা পাশাপাশি স্তরের আপেক্ষিক বেগ কমাইতে চায় তাহাকে সান্দ্রতা বলে।** সান্দ্রতা তরলের গতিতে বাধা দেয়। একটি পাত্রে কোহল ও অনুরূপ অন্য একটি পাত্রে ঘন তেল লইয়া উভয়কে একই ভাবে নাড়িয়া দিলে তেল তাড়াতাড়ি থামিয়া যাইবে, কিন্তু কোহল থামিতে দেরী

চিত্র 4·3

হইবে। তেলের সান্দ্রতা কোহলের চেয়ে বেশী বলিয়া এরূপ হয়। তেল নিজের দুই স্তরের আপেক্ষিক গতিতে বেশী বাধা দিতে পারে।

সমতল স্থানের উপর দিয়া তরল **আস্তে আস্তে** প্রবাহিত হইতে থাকিলে, কঠিনের সংস্পর্শে অবস্থিত তরলের স্তর আসঞ্জনের জন্য স্থির থাকে। তাহার উপরের স্তর, নিচের তরল স্তরের উপর দিয়া স্বল্প বেগে চলে। আরও উপরের স্তর আরও বেগে চলে (4·3 চিত্র)। স্তর কঠিন তলের যত উপরে তাহার বেগ তত বেশী হয়। তরলের পর পর অবস্থিত স্তর একে অন্যকে ত্বরান্বিত বা মন্থর করিয়া আপেক্ষিক বেগ কমাইতে চায়। বলের প্রকৃতি স্পার্শক (tangential)। স্পার্শক বল দুই স্তরের স্পর্শতলে ক্রিয়া করে। দ্রুততর তলে উহার ক্রিয়া স্তরের গতির বিপরীতে এবং মন্থর তলে উহা গতির দিকে। স্পার্শক বলের মান (ক) তরলের প্রকৃতি, (খ) স্তরের স্পর্শতলের ক্ষেত্রফল ও (গ) স্তরের দূরত্বের সহিত বেগের পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর করে। x cm দূরত্বে অবস্থিত দুই স্তরে যদি বেগের প্রভেদ v cm/s হয়, এবং স্তরের A cm² তলে যদি F dyne স্পার্শক বল ক্রিয়া করে তবে $F/\{A(v/x)\}$ রাশিটিকে **সান্দ্রতা গুণাংক (coefficient of viscosity)** বলে। সিজিএস্ এককে সান্দ্রতা গুণাংকের এককের নাম পয়্জ্ (Poise)।

তরল স্থির থাকিলে সান্দ্রতার বল ক্রিয়া করে না। দুই স্তরে আপেক্ষিক বেগ থাকিলে তবেই সান্দ্রতার বাধা ক্রিয়া করে। এই আচরণ ঘর্ষণ (Friction)-এর মত। এজন্য সান্দ্রতাকে কখন কখন অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ (Internal friction)-ও বলা হয়। কোন পাত্রের জল নাড়িয়া দিলে বিভিন্ন স্তরে অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণের জন্য জল কিছুক্ষণ পরে থামিয়া যায়। এক্ষেত্রে সান্দ্রতা জলের গতিশক্তি কমাইয়া উহাকে তাপে পরিণত করে।

গ্যাসীয় পদার্থেরও সান্দ্রতা আছে। বৃষ্টির ফোঁটা বায়ুর ভিতর দিয়া পড়িতে বায়ুর সান্দ্রতাজনিত বাধা পায়। পড়ন্ত ফোঁটার বেগ বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে সান্দ্রতার বাধাও বাড়ে। বাধা ক্রমশ বাড়িয়া অভিকর্ষের টানের সমান (ফোঁটার ওজনের সমান) হইলে তখন পড়ন্ত ফোঁটার বেগ আর বাড়ে না। এই বেগকে ফোঁটার প্রান্তিক বেগ (Terminal velocity) বলে।

জাহাজ জলের উপর দিয়া চলিতে বা এরোপ্লেন বায়ুর ভিতর দিয়া যাইতে সান্দ্রতাজনিত প্রচুর বাধা পায়। বাধা কমাইবার জন্য উহাদের বিশেষ আকার দেওয়া হয়। এরূপ করাকে 'স্ট্রিমলাইনিং' (Streamlining) বলে।

4-3. প্রবাহীতে গতি (Motion in fluids)। এর আগের পরিচ্ছেদে আমরা সাম্যে অবস্থিত প্রবাহী পদার্থের ধর্মের কিছু কিছু বর্ণনা দিয়াছি। এখানে আমরা প্রবাহীর গতি সম্বন্ধে সামান্য কয়েকটি কথা বলিব। অধিকাংশ ক্ষেত্রে কঠিন বস্তুকে গতির ব্যাপারে কণারূপে কল্পনা করা চলে। কিন্তু প্রবাহীকে অবিচ্ছিন্ন মাধ্যম (continuous medium)-রূপে দেখিতে হয়। ইহাতে প্রবাহীর গতি আলোচনা জটিল হয়।

প্রবাহীর গতি দুইভাবে আলোচনা করা যায়—(১) উহার স্বল্প আয়তন পদার্থকে কণারূপে কল্পনা করিয়া নিউটনের গতীয় সূত্র প্রয়োগে উহার গতি বিচার করা; (২) প্রবাহী যে অঞ্চল জুড়িয়া আছে সেই অঞ্চলের বিভিন্ন বিন্দুতে সময়ের সঙ্গে প্রবাহী কণার বেগ ও ঘনত্ব কি ভাবে বদলাইতেছে তাহা বিচার করা। দ্বিতীয় উপায়টি অপেক্ষাকৃত সহজ। অধিকাংশ ক্ষেত্রে দ্বিতীয় উপায়টিই প্রয়োগ করা হয়। আমরাও তাহাই করিব।

প্রবাহীর গতির নানারকম শ্রেণীভেদ হইতে পারে। এক হইল, গতিকে **নিয়ত (steady)** বা **অনিয়ত (nonsteady)** বলা। কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে প্রবাহী-কণার বেগ সর্বদা একই হইলে সে গতি 'নিয়ত', অর্থাৎ নিয়ত গতিতে প্রবাহ ক্ষেত্রের নির্দিষ্ট কোন বিন্দু অতিক্রম করিয়া যে কণাই যখন যাক না কেন, উহার বেগ v_1 একই হইবে। অন্য বিন্দুতে উহার বেগ v_2 আলাদা হইতে পারে। কিন্তু এই দ্বিতীয় বিন্দুতে যখন যে কণাই আসুক না কেন, উহার বেগ হইবে v_2। সাধারণত বেগ কম থাকিলে প্রবাহীর গতি নিয়ত হইতে পারে। কোন নালা দিয়া জল আস্তে আস্তে যাইতে থাকিলে গতি নিয়ত হইবার সম্ভাবনা। নদীতে যখন জোয়ারের জল জোরে প্রবেশ করে (বান আসে) তখন যে কোন বিন্দুতে বেগ v সময়ের সঙ্গে বদলায়। বেগ সময়ের সঙ্গে বদলাইলে সে গতি 'অনিয়ত'।

তাহা ছাড়া গতিতে ঘূর্ণি (Eddy) বা আবর্ত (Vortex) থাকিতে পারে বা নাও পারে। না থাকিলে সে গতিকে 'অঘূর্ণ' (Irrotational), এবং থাকিলে তাহাকে 'ঘূর্ণ' (Rotational) গতি বলে।

তরলের 'সান্দ্রতা' বলিয়া বিশেষ একটি ধর্ম আছে (4-2 বিভাগ দেখ)। ইহার কাজ তরলের বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতিতে বাধা দেওয়া। কোন গতিতে সান্দ্রতার ক্রিয়া উপেক্ষা করা চলে, কোথাও চলে না। প্রথম ক্ষেত্রে গতিকে 'অসান্দ্র গতি' (Nonviscous flow) ও পরের ক্ষেত্রে উহাকে 'সান্দ্র গতি' (Viscous flow) বলা চলে।

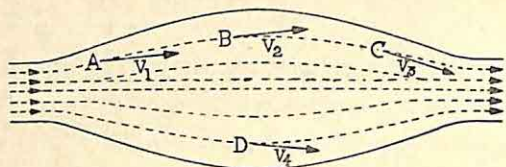
তরল প্রায় অসংনম্য (incompressible); গ্যাসের সংনম্যতা খুব বেশী। ইহার জন্য তরলে ও গ্যাসের প্রবাহে প্রভেদ আসে। তরলের ক্ষেত্রে গতিকে আমরা 'অসংনম্য গতি' (Incompressible flow) ও গ্যাসের ক্ষেত্রে উহাকে 'সংনম্য গতি' (Compressible flow) বলিতে পারি।

নিয়ত (steady), অঘূর্ণ (irrotational), অসংনম্য (incompressible) ও অসান্দ্র (nonviscous) প্রবাহের আলোচনা সবচেয়ে সহজ। 4-4 বিভাগে এরূপ প্রবাহ সম্বন্ধে আর দু-একটি কথা বলা হইবে।

যে অঞ্চল জুড়িয়া প্রবাহ হয় তাহাকে 'প্রবাহ ক্ষেত্র' (Field of flow) বলে। বৈদ্যুত ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে ইহার তুলনা করা যায়। বৈদ্যুত ক্ষেত্র যেমন বৈদ্যুত তীব্রতা (Electric intensity) E-র ক্ষেত্র, চৌম্বক ক্ষেত্র যেমন চৌম্বক তীব্রতা (Magnetic intensity) H-এর ক্ষেত্র, তেমনই প্রবাহক্ষেত্র প্রবাহীর বেগের (v-র) ক্ষেত্র।

4-4. শান্তরৈখিক প্রবাহ (Streamline flow)। প্রবাহকালে প্রবাহ-পথের প্রত্যেক বিন্দুতে প্রবাহের বেগের দিক ও মান অপরিবর্তিত থাকিলে, তাহাকে **নিয়ত প্রবাহ (Steady flow)** বলে। নহিলে প্রবাহ 'অনিয়ত' (Nonsteady)।

4·4 চিত্রে কোন নল বা খাতের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তরলের এক অংশ দেখান হইয়াছে। মনে কর উহার A, B, C বিন্দুতে কোন এক সময় বেগ যথাক্রমে v_1, v_2, v_3। স্রোতে বাহিত হইয়া যে কণাই যখন A-তে আসুক না কেন, গতি 'নিয়ত' হইলে A-তে সর্বদাই উহার বেগ v_1, B-তে v_2, C-তে v_3, ইত্যাদি হইবে। নিয়ত হউক বা অনিয়ত হউক, প্রবাহে কোন তরল কণা যে পথ ধরিয়া চলে তাহাকে **প্রবাহ রেখা (Flow line)** বলে।

চিত্র 4·4

প্রবাহক্ষেত্রে যে রেখা উহার প্রত্যেক বিন্দুতে স্থানীয় কণার বেগের সমান্তরাল, তাহাকে **শান্তপ্রবাহ রেখা (Stream line)** বলে। যে প্রবাহ শান্তপ্রবাহ রেখার সাহায্যে বর্ণনা করা যায় তাহাকে **শান্তরৈখিক** বা **শান্তরেখ প্রবাহ (Stream line flow)** বলে। কণার গতি শান্তপ্রবাহ রেখার স্পর্শক বরাবর। নিয়ত প্রবাহে (In steady flow) প্রবাহ রেখা এবং শান্তপ্রবাহ রেখা একই। 4·4 চিত্রে ভাঙ্গা রেখাগুলি দিয়া নিয়ত প্রবাহে শান্তপ্রবাহ রেখা দেখান হইয়াছে।

প্রবাহ ক্ষেত্রে শান্তপ্রবাহ রেখা ও বলক্ষেত্রে বলরেখার সাদৃশ্য।

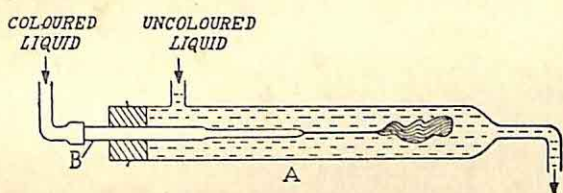
(১) শান্তপ্রবাহে প্রবাহক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে কণার বেগের অভিমুখ রেখার ঐ বিন্দুতে টানা স্পর্শক বরাবর। বলক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে তীব্রতার অভিমুখ বলরেখার ঐ বিন্দুতে টানা স্পর্শক বরাবর।

(২) দুই শান্তপ্রবাহ রেখা কখনও পরস্পর ছেদ করিতে পারিবে না, কারণ তাহা হইলে ছেদবিন্দুতে কণার সম্ভাব্য গতিপথ দুইটি হইতে পারে। দুটি বলরেখাও ছেদ করে না কারণ তাহা হইলে ক্ষেত্রের একই বিন্দুতে তীব্রতার মান দুইটি হইতে পারে। ইহা সম্ভব নয়।

(৩) বলরেখা ঘন সন্নিবিষ্ট থাকিলে সেখানে বলক্ষেত্রের প্রাবল্য বেশী। শান্তপ্রবাহ রেখা ঘন সন্নিকট হইলে সেখানে প্রবাহের বেগ বেশী।

4-5. বিক্ষুব্ধ প্রবাহ (Turbulent flow)। শান্তরৈখিক প্রবাহ কম ক্ষেত্রেই ঘটে। সাধারণত বেগ কম ও প্রবাহের খাত সরু হইলে প্রবাহ শান্তরৈখিক হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই প্রবাহ বিক্ষুব্ধ। **প্রবাহ পথের কোন বিন্দুতে বেগের মান ও দিক স্থির না থাকিয়া সময়ের সঙ্গে এলোমেলো ভাবে বদলাইতে থাকিলে প্রবাহকে বিক্ষুব্ধ বলা হয়।** পথের কোন বিন্দুতে আগন্তুক কণা বিভিন্ন

সময়ে বিভিন্ন পথে চলে এবং তরলের কোন কোন অংশ ঘূর্ণিত হইতে হইতে স্রোতের সঙ্গে চলে। ইহাতে ঘূর্ণি (Eddy) ও আবর্তের (Vortex-এর) সৃষ্টি হয়।

রেনল্ডস (Reynolds) শান্তরৈখিক ও বিক্ষুব্ধ প্রবাহের প্রভেদ একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে দেখাইয়াছেন। 4·5 চিত্রে মোটা নল A দিয়া কোন স্বচ্ছ তরল প্রবাহিত হইতেছে। যে পাত্রে স্বচ্ছ তরল রাখা আছে তাহা উঠাইয়া নামাইয়া প্রবাহের বেগ বাড়ান কমান যায়। অন্য পাত্রে ঐ তরলকে গাঢ় রং করিয়া সরু নল B-র সাহায্যে A-র অক্ষ বরাবর রঙীন তরল সরু সুতার আকারে ছাড়া যায়। স্বচ্ছ তরলের বেগ কম হইলে রঙীন সুতা সোজা এবং অবিচ্ছিন্ন থাকে। ইহা নিয়ত (অতএব শান্তরৈখিক) প্রবাহ। স্রোতের বেগ বাড়াইয়া চলিলে ক্রমে সুতা কাঁপিতে

চিত্র 4·5

থাকিবে। ইহা অনিয়ত অথচ শান্তরৈখিক প্রবাহ। পরে সুতা ছিন্ন হইয়া এলোমেলো ভাবে চলিতে থাকিবে। ইহা বিক্ষুব্ধ প্রবাহ। স্রোতের যে বেগে এই গোলমাল আরম্ভ হয়, তাহাকে ক্রান্তিক বেগ (Critical velocity) বলে। ইহা তরলের প্রকৃতি, প্রবাহ খাতের প্রস্থ ও দেওয়ালের মসৃণতা ইত্যাদির উপর নির্ভর করে।

অনুশীলনী

1. তরল পৃষ্ঠের আচরণ কি প্রকার? তরলের পৃষ্ঠটান (Surface tension) কাহাকে বলে?

2. পৃষ্ঠটানের ক্রিয়ার তিনটি উদাহরণ দাও। উদাহরণগুলিতে পৃষ্ঠটান কি অংশ গ্রহণ করিল তাহা বুঝাইয়া বলিও।

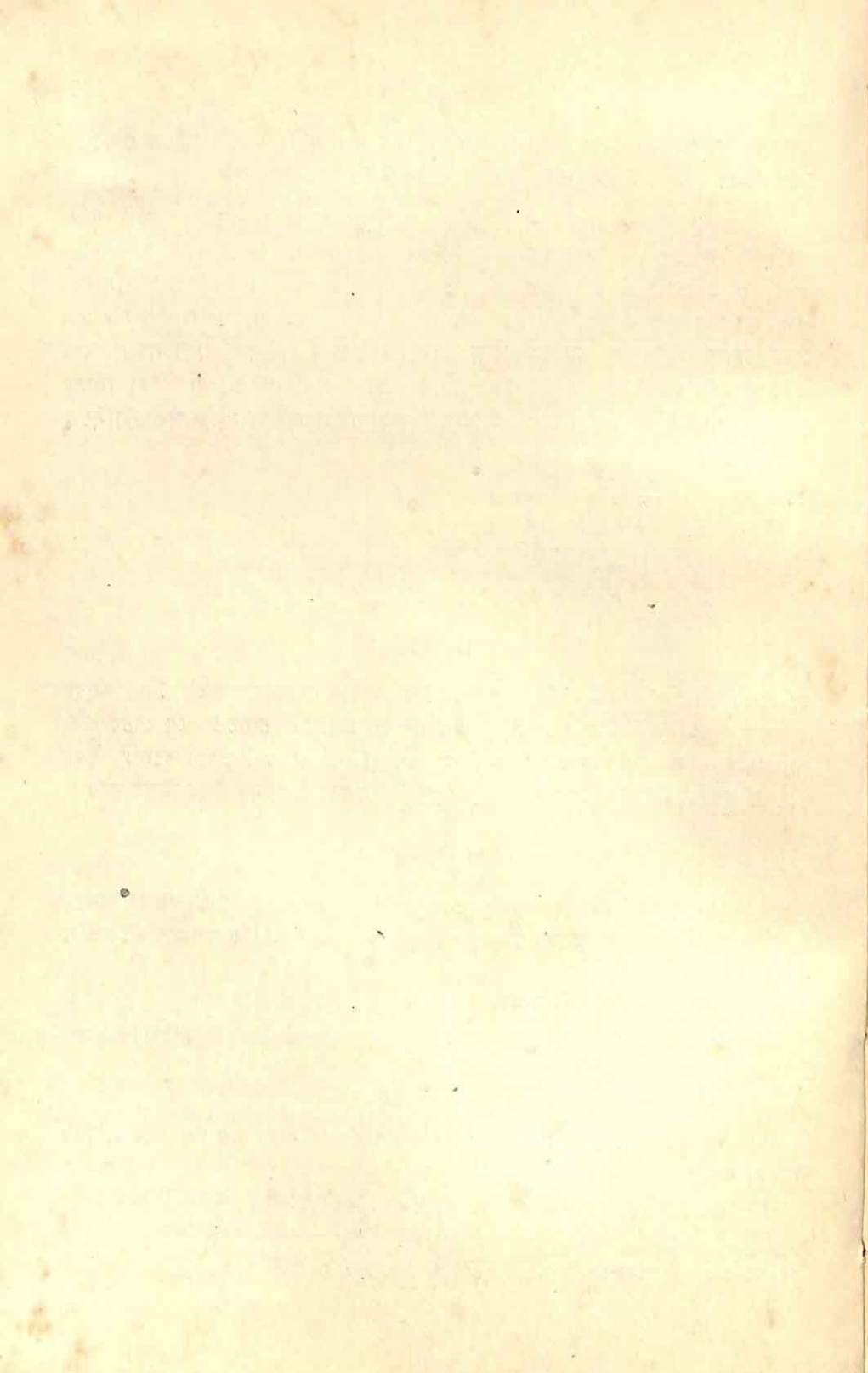
3. সরু কাচের নলে জল কি কারণে উপরে ওঠে, এবং পারা কি কারণে নামে?

4. তরলের সান্দ্রতা (Viscosity) বলিতে কি বুঝায়? তরলের গতিতে ইহার ক্রিয়া কি রকম? স্থির তরলে সান্দ্রতা ক্রিয়া করে কি?

5. সান্দ্রতাকে অভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ কি কারণে বলা যায়?

6. প্রবাহীর গতির কয়েক রকম শ্রেণীভেদের কথা বল। ইহার মধ্যে কোন্ প্রকার গতির আলোচনা সহজ?

7. শান্তপ্রবাহ রেখা (Stream line) কাহাকে বলে? শান্তরৈখিক প্রবাহ (Streamline flow) বলিতে কি বুঝায়? প্রবাহ কি রকম হইলে উহাকে বিক্ষুব্ধ (turbulent) বলা হয়?

উপরোক্ত দুই প্রকার প্রবাহের প্রভেদ দেখাইবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

তাপতত্ত্ব

১ তাপ ও উষ্ণতার সংক্ষিপ্তবৃত্তি
(Recapitulation of the basic concepts of heat and temperature)

1-1. তাপ (Heat)। স্পর্শেন্দ্রিয়ের সাহায্যে আমরা ঠাণ্ডা বা গরম বুঝিতে পারি। এক পাত্র জল উনানের উপর বসাইয়া দিলে উহা ক্রমশ উষ্ণ হইতে উষ্ণতর হইতে থাকে, এবং শেষ পর্যন্ত ফুটিয়া বাষ্পে পরিণত হয়। যে বাহ্য কারণে শীতল বস্তু উষ্ণ হয় তাহাকে আমরা 'তাপ' নাম দিয়াছি। কোন বস্তু আগের তুলনায় উষ্ণ হইলে আমরা বলি উহাতে 'তাপ' প্রবেশ করিয়াছে।

গরমবোধ বা ঠাণ্ডাবোধ দুইই তাপের জন্য হয়। ছুঁইয়া কোন বস্তুকে গরম মনে হইলে আমরা বলি ঐ বস্তু হইতে তাপ আমাদের দেহে প্রবেশ করিয়াছে। দেহ হইতে তাপ বাহির হইলে আমরা ঠাণ্ডা বোধ করি।

1-2. উষ্ণতা (Temperature)। সকল বস্তুতেই তাপ আছে। কিন্তু এক বস্তু হইতে তাপ অন্য বস্তুতে যাইবে কি না তাহা কোন বস্তুর তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। এক পাত্র গরম জলে এক পাত্র ঠাণ্ডা জল মিশাইলে মোট তাপ বাড়ে; কিন্তু তাহা সত্ত্বেও গরম জল ঠাণ্ডা হয়, এবং মেশান জল ঠাণ্ডা জলের চেয়ে গরম থাকে।

এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপ সঞ্চালন বস্তুতে তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর না করিলে নিশ্চয়ই অন্য কিছুর উপর নির্ভর করে। এই 'অন্য কিছু'-কে আমরা 'উষ্ণতা' নাম দিয়াছি। আমাদের অভিজ্ঞতায় আমরা দেখিতে পাই অসমান উষ্ণ দুইটি বস্তুকে সংস্পর্শে রাখিলে কিছুক্ষণের মধ্যে উহারা সমান উষ্ণ হয়। তাপ উহাদের একটি হইতে অন্যটিতে যায়। তাপসঞ্চালন সংক্রান্ত ব্যাপারে বস্তু দুইটির অবস্থার (ইহাকে আমরা **তাপীয় অবস্থা** বা **Thermal state** বলিব) প্রভেদ ছিল। এই অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে আমরা উষ্ণতার একটি সংজ্ঞা দিতে পারি।

সংজ্ঞা। কোন বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপ সঞ্চালন হইতে পারিবে কি না তাহা বস্তুর যে তাপীয় অবস্থা দিয়া নির্দিষ্ট হয়, তাহাকে **উষ্ণতা** বলে।

বেশী উষ্ণতার বস্তু হইতে কম উষ্ণতার বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হইবে। উষ্ণতা সমান হইলে এক বস্তু হইতে অন্যটিতে তাপ সঞ্চালন হইবে না। ইচ্ছামত নেওয়া কোন স্কেলে একটি সংখ্যা দিয়া উষ্ণতার মান প্রকাশ করা হয়।

এক বালতি জল এবং ঐ বালতি হইতে নেওয়া এক কাপ জলের উষ্ণতা একই। কিন্তু বালতির জলে কাপের জলের তুলনায় অনেক বেশী পরিমাণ তাপ আছে কারণ বালতির জল কাপের জলের বহুগুণ বেশী।

1-3. তাপ ও উষ্ণতার প্রভেদ। তাপ ও উষ্ণতার প্রভেদ আমরা একাধিক ভাবে বলিতে পারি।

(১) তাপ এক প্রকার শক্তি ; উষ্ণতা তাপসঞ্চালন সংক্রান্ত এক প্রকার অবস্থা।

শক্তির একক দিয়া তাপ মাপা যায়। ইচ্ছামত নেওয়া কোন স্কেলে একটি সংখ্যার সাহায্যে কোন বস্তু প্রমাণ (standard) অন্য কোন বস্তুর তুলনায় কত উষ্ণ তাহা প্রকাশ করা হয়।

(২) কোন বস্তুতে তাপের পরিমাণের* সঙ্গে উহার উষ্ণতার কোন সম্পর্ক নাই। (এক বালতি জল ও উহা হইতে নেওয়া অল্প একটু জল ইহার একটি উদাহরণ।)

(৩) দুইটি বিভিন্ন বস্তুতে সমান তাপ যোগ করিলেও উহাদের উষ্ণতা বৃদ্ধি আলাদা হইতে পারে। (এক কাপ ফুটন্ত জল এক বালতি জলে ঢালিলে বালতির জলের উষ্ণতা সামান্যই বাড়ে। কিন্তু বালতির এক গেলাস জলে ঐ এক কাপ ফুটন্ত জল ঢালিলে উহা অনেক গরম হয়।)

(৪) এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপসঞ্চালন উহাদের উষ্ণতা দিয়া ঠিক হয়, তাপের পরিমাণ দিয়া নয়। তাপ বেশী উষ্ণতার বস্তু হইতে কম উষ্ণতার বস্তুতে যায়। এ বিষয়ে তাপ ও উষ্ণতার সম্পর্ক জল ও জল-তলের (water-level-এর) সম্পর্কের মত। পাত্রে জল ঢালিলে জল-তল বাড়ে (উপরে ওঠে) ; তেমনি তাপ দিলে বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে। উষ্ণতা যেন তাপের 'তল' (level)।

1-4. তাপের ক্রিয়া (Effects of heat)। তাপের ক্রিয়ায় পদার্থের প্রায় সকল ভৌত ধর্মেরই অল্পবিস্তর পরিবর্তন ঘটে। তাপ যোগ বা বিয়োগে উষ্ণতা বাড়ে বা কমে। ভৌত ধর্মের পরিবর্তন উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্যই হয়। কাজেই তাপের ক্রিয়ায় পরিবর্তনগুলিকে উষ্ণতা পরিবর্তনের ক্রিয়া বলিয়া মনে করাই বেশী যুক্তি-সঙ্গত। **উষ্ণতা রাশিটি তাপতত্ত্বে সব চেয়ে মৌলিক রাশি।**

1-5. থার্মমিটার (Thermometers)। উষ্ণতা মাপিবার যন্ত্রকে থার্মমিটার বলে। উষ্ণতা পরিবর্তনে কোন পদার্থের কোন ধর্মের যথেষ্ট পরিবর্তন হইলে এবং ঐ ধর্মের পরিবর্তন সহজে পরিমেয় (মাপার যোগ্য) হইলে, ঐ পদার্থের ঐ ধর্মের সাহায্যে থার্মমিটার তৈয়ারি করা যায়। এরূপ পদার্থকে **উষ্ণতামাপক পদার্থ (Thermometric substance)** এবং এরূপ ধর্মকে **উষ্ণতামাপক ধর্ম (Thermometric property)** বলে।

উষ্ণতামাপক পদার্থ ও ধর্ম নানা রকমের হইতে পারে। কাচের সরু নলে ভরা পারা (mercury)-থার্মমিটার তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। জ্বর দেখার থার্মমিটার এই রকম। ইহাতে পারা (বা পারদ, mercury) উষ্ণতা মাপক পদার্থ এবং উষ্ণতা পরিবর্তনে উহার আয়তন পরিবর্তন (বা সরু নলে পারা-সূতার (mercury column-এর) দৈর্ঘ্য পরিবর্তন) উষ্ণতামাপক ধর্ম।

---

* আধুনিক দৃষ্টিভঙ্গীতে 'কোন বস্তুতে তাপের পরিমাণ বা মোট তাপ' কথাটি বিজ্ঞানসম্মত নয়। ইহার কারণ আমরা এখানে আলোচনা না করিয়া শেষ পরিচ্ছেদে করিব।

1-6. থার্মমিটারের স্থিরবিন্দু (Fixed points of a thermometer)। এক বায়ুমণ্ডল চাপে যে উষ্ণতায় জল এবং বরফ সহাবস্থান করিতে পারে (অর্থাৎ বরফ গলে না বা জল বরফে পরিণত হয় না) তাহাকে থার্মমিটারের **'নিচ স্থিরবিন্দু' (Lower fixed point)** বা বরফের স্বভাবী (Normal) গলনাংক (সংক্ষেপে **'বরফাংক'**, **Ice point**) বলে। এক প্রমাণ (Standard) বায়ুমণ্ডল চাপে যে উষ্ণতায় জল এবং জলীয় বাষ্প সহাবস্থান করিতে পারে (অর্থাৎ জল বাষ্প হয় না বা বাষ্প জলে পরিণত হয় না) তাহাকে থার্মমিটারের **'উচ্চস্থির বিন্দু' (upper fixed point)** বা **জলের স্বভাবী স্ফুটনাংক** (সংক্ষেপে 'জলীয় বাষ্পাংক', **Steam point**) বলে। থার্মমিটারের স্কেল ঠিক করিতে এই দুটি উষ্ণতার সাহায্য নেওয়া হয়। ইহাদের সুবিধা যে পৃথিবীর সর্বত্রই এ দুটি স্থির এবং উভয় উষ্ণতাই খুব সহজলভ্য। এই দুই উষ্ণতাকে থার্মমিটারের দুই স্থিরবিন্দু ধরা হয়।

1-7. উষ্ণতার বিভিন্ন স্কেল (Scales of temperature)। থার্মমিটারের দুই স্থিরবিন্দুর উষ্ণতার ব্যবধানকে থার্মমিটারের **মূল ব্যবধান (Fundamental interval)** বলে। এই ব্যবধানকে সুবিধামত নির্দিষ্ট সংখ্যক সমান অংশে ভাগ করিয়া থার্মমিটারের বিভিন্ন স্কেল রচিত হইয়াছে। প্রত্যেক ভাগকে এক এক ডিগ্রী (Degree, চিহ্ন °) বলে। বিভিন্ন স্কেলে ডিগ্রীর মান বিভিন্ন, বা দুই স্থিরবিন্দুতে আরোপিত উষ্ণতার অংক বিভিন্ন হয়। নিচের সারণিতে কয়েকটি স্কেলের নাম, স্কেলের চিহ্ন, স্থিরবিন্দুতে আরোপিত উষ্ণতার অংক ও মূল ব্যবধান দেখান হইয়াছে।

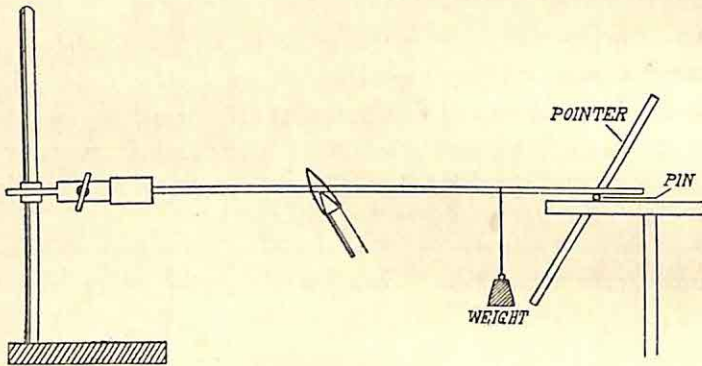
স্কেলের নাম	চিহ্ন	মূল ব্যবধান	স্থিরবিন্দুতে আরোপিত উষ্ণতার মান	
			নিচ স্থিরবিন্দু	উপরের স্থিরবিন্দু
সেন্টিগ্রেড বা সেলসিয়াস (Celsius)	°C	100°	0° C	100° C
কেলভিন (Kelvin) বা নিরপেক্ষ (Absolute)	°K	100°	273° K	373° K
ফারেনহাইট (Fahrenheit)	°F	180°	32° F	212° F

আগে যাহাকে সেন্টিগ্রেড স্কেল বলা হইত, আন্তর্জাতিক সম্মতিক্রমে সেন্টিগ্রেড স্কেলের প্রবর্তক সেলসিয়াসের সম্মানার্থে এখন তাহাকে **সেলসিয়াস স্কেল (Celsius scale)** বলা হয়। স্কেলের চিহ্ন ইত্যাদি আর সব বৈশিষ্ট্যই অক্ষুণ্ণ আছে।

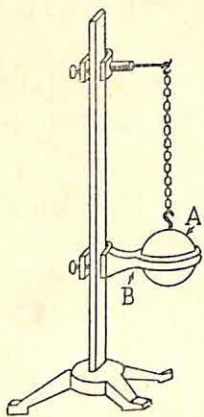
শিল্প, বাণিজ্য ও দৈনন্দিন কাজে পুরান বৃটিশ সাম্রাজ্যের দেশগুলিতে ও আমেরিকার যুক্তরাষ্ট্রে ফারেনহাইট স্কেলের প্রচলন ছিল। এখন এই স্কেলের প্রচলন খুব কম। ভারতে এই সকল কাজে সেলসিয়াস স্কেল প্রচলিত হইয়াছে।

বৈজ্ঞানিক কাজে **কেলভিন স্কেল** (4-4 বিভাগ; ইহাকে নিরপেক্ষ বা অ্যাব্‌সলিউট (Absolute) স্কেলও বলা হয়) পৃথিবীর সর্বত্র প্রচলিত। ইহার প্রতি ডিগ্রী ব্যবধান এক সেলসিয়াস ডিগ্রী ব্যবধানের সমান। এই স্কেল ও **আদর্শ গ্যাস স্কেল (Perfect gas scale)** অভিন্ন। এই স্কেলকে **নিরপেক্ষ স্কেল (Absolute scale)** বলার বিশেষ অর্থ আছে—ইহা কোন উষ্ণতামাপক পদার্থের বা ধর্মের উপর নির্ভর করে না।

২ | কঠিন পদার্থের প্রসারণ
(Expansion of solids)

2-1. উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের প্রসারণ দেখাইবার কয়েকটি সহজ পরীক্ষা। কোন কঠিন পদার্থকে উষ্ণ করিলে উহা আয়তনে বাড়ে ; উষ্ণতা

চিত্র 2·1

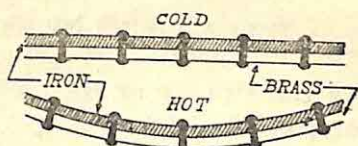
কমাইলে উহা সংকুচিত হয়। কঠিন পদার্থের প্রসারণ বা সংকোচন এত কম যে চোখে দেখিয়া উহা ধরা যায় না। আয়তন বাড়িলে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ সকলই বাড়িবে। উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের প্রসারণ দেখাইবার কয়েকটি সহজ পরীক্ষা নিচে বলা হইল।

প্রদর্শন (Demonstration)। (১) লম্বা একটি সরু ধাতুদণ্ডের একপ্রান্ত ক্ল্যাম্পে (clamp-এ) আঁটিয়া উহার অন্যপ্রান্ত একটি পিনের উপর রাখ (2·1 চিত্র)।

চিত্র 2·2

পিনের সঙ্গে সোজা এবং লম্বা এক টুকরা খড় বা কাগজের নল গাঁথ (ছবির 'Pointer')। ধাতুদণ্ডের এই প্রান্তের কাছে আধ বা এক কিলোগ্রাম মত ওজন ঝুলাও। এই ওজনের জন্য দণ্ডটি পিনের গায় চাপিয়া থাকে। দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর বুনসেন শিখা বুলাইয়া গেলে উহা উষ্ণ হইবে এবং দেখা যাইবে পয়েণ্টার বা সূচকটি খানিকটা ঘুরিয়া গিয়াছে। দণ্ডটি ঠাণ্ডা হইলে সূচক স্বস্থানে ফিরিয়া আসে। দণ্ড উষ্ণ হওয়ায় উহার দৈর্ঘ্য বাড়িয়াছে, এবং দণ্ডে চাপা পিন তাহাতে ঘোরায় সূচকও ঘুরিয়াছে। দণ্ড ঠাণ্ডা হওয়ার সময় অনুরূপ কিন্তু বিপরীত ক্রিয়া হইয়াছে।

(২) 2·2 চিত্রে A গোলকটি ঠাণ্ডা অবস্থায় B আংটার মধ্য দিয়া ঠিক ঠিক গলিয়া যাইতে পারে। কিন্তু A-কে উষ্ণ

করিলে উহা B-তে আটকাইয়া যায়। আবার ঠাণ্ডা হইলে B-র ভিতর দিয়া A গলিয়া যায়। উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে A-র প্রসারণ ইহার কারণ।

2-1.1 একই উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ বিভিন্ন। সমান উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ বিভিন্ন হয়, ইহা দেখাইতে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর (ধর লোহা ও পিতলের) সমান আকারের দুখানা পাত নিয়া উহাদের রিভেট (rivet) করিয়া আঁটা হইল (2·3 চিত্র)। উষ্ণ করিলে দেখা যাইবে যে এই যুগ্ম পাত, যাহা আগে সোজা ছিল, তাহা আর সোজা নাই, বাঁকিয়া গিয়াছে। ঠাণ্ডা করিলে উহা আবার সোজা হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পিতলের পাত লোহার পাতের চেয়ে লম্বায় বেশী বাড়ায় জোড়া-পাত বাঁকিয়া গিয়াছিল।

চিত্র 2·3

সোজা পাত-জোড়াকে আরও ঠাণ্ডা করিলে পিতল লোহার চেয়ে লম্বায় বেশী খাট হইবে বলিয়া জোড়া-পাত আগের তুলনায় বিপরীত দিকে বাঁকিবে। সমান উষ্ণতা পরিবর্তনে লোহার চেয়ে পিতলের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন বেশী হয়, ইহা তাহার প্রমাণ।

2-2. রৈখিক (বা দৈর্ঘ্য) প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of linear expansion)। কঠিন পদার্থ উষ্ণ করিলে উহা আয়তনে বাড়ে, অর্থাৎ সকল দিকেই উহার প্রসারণ হয়। অনেক সময় উহার বিশেষ কোন এক দিকের প্রসারণ আমাদের আলোচ্য বিষয় হয়। একদিকের প্রসারণকে আমরা **রৈখিক প্রসারণ (linear expansion)** বলিতে পারি। বস্তুর পদার্থের ধর্ম সকল দিকে একই হইলে, অর্থাৎ বস্তুটি সমদৈশিক (isotropic) হইলে, সকল দিকের প্রসারণ একই নিয়মে হয়। সুবিধার জন্য আমরা বস্তুটির দৈর্ঘ্যের দিকের প্রসারণ লইয়া আলোচনা করিব। (আমাদের আলোচনায় সকল পদার্থকেই সমদৈশিক ধরা হইবে। বিশেষ কতকগুলি কেলাস (crystal) আছে, যাহারা সমদৈশিক নয়; এগুলি আমরা আলোচনা করিব না)।

মনে কর, t_1 উষ্ণতায় কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 ও t_2 উষ্ণতায় l_2। পরীক্ষায় দেখা যায় দৈর্ঘ্য পরিবর্তন $l_2 - l_1$ আদি দৈর্ঘ্য l_1 এবং উষ্ণতা পরিবর্তন $t_2 - t_1$-এর মোটামুটি সমানুপাতিক। এরূপ হইলে গণিতের ভাষায় লেখা যায়

$$l_2 - l_1 = al_1(t_2 - t_1) \qquad (2\text{-}2.1)$$

এই সমীকরণে a একটি স্থিরাংক এবং উহার মান দণ্ডের পদার্থের উপর নির্ভর করে। এই সমীকরণ হইতে পাই

$$a = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{\text{আদি দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} \qquad (2\text{-}2.2)$$

এই সমীকরণে বর্ণিত a রাশিটিকে আলোচ্য পদার্থের **রৈখিক প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of linear expansion)** বলে। যথার্থ বলিতে গেলে ইহা $t_1°$ ও $t_2°$ উষ্ণতার পাল্লায় ঐ পদার্থের **গড় রৈখিক প্রসারণ গুণাংক।** t_1 ও t_2 খুব কাছাকাছি হইলে a-কে তখন $\frac{1}{2}(t_1+t_2)°$ উষ্ণতায় রৈখিক প্রসারণ গুণাংক বলা যায়।

উষ্ণতার সঙ্গে পদার্থের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি সাধারণত জটিল এবং উহাকে

$$l_t = l_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + \cdots\cdots) \tag{2-2.3}$$

রূপে লেখা যায়। এই সমীকরণে l_t বলিতে $t°$ উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য ও l_0 বলিতে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, সাধারণত 0°C-তে, দৈর্ঘ্য বুঝায়। a, b, c প্রভৃতি রাশিগুলি কোন প্রদত্ত পদার্থের ক্ষেত্রে স্থির-রাশি এবং উহাদের মান খুব ছোট। কপারের (তামার) ক্ষেত্রে

$$l_t = l_0(1 + 16{\cdot}2\times10^{-6}\,t + 4{\cdot}5\times10^{-9}t^2 - 20\times10^{-12}t^3 + \cdots)$$

b, c, প্রভৃতি রাশিগুলি উপেক্ষা করিলে, 0°C-তে দৈর্ঘ্য l_0 হইলে এবং t সেলসিয়াস স্কেলে হইলে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক হইবে $a = \dfrac{l_t - l_0}{l_0 t}$ (2-2.4)

2-2.2 এবং 2-2.4 সমীকরণে বর্ণিত a রাশি দুইটি সঠিক বলিতে গেলে এক নয়। প্রথমটি t_1 ও t_2 ডিগ্রী উষ্ণতার মধ্যে গড় রৈখিক প্রসারণ গুণাংক এবং দ্বিতীয়টি হইল 0°C ও t°C-র মধ্যে গড় রৈখিক প্রসারণ গুণাংক। $t_1 = 0$°C এবং $t_2 = t$ হইলে উহারা এক। রাশি দুটিতে প্রভেদ এত কম যে সাধারণত তাহা উপেক্ষা করা হয়।

সংজ্ঞা হিসাবে বলা হয়, **কোন পদার্থের রৈখিক প্রসারণ গুণাংক বলিতে এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে এক একক দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি বুঝায়।** Coefficient of linear expansion-কে সংক্ষেপে C. L. E. লেখা হয়। ইংরেজীর অনুকরণে সংক্ষেপ করিয়া রৈখিক প্রসারণ গুণাংককে আমরা রৈ. প্র. গু. লিখিব। রৈ. প্র. গু. a হইলে সংজ্ঞা অনুসারে,

1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে 1 cm দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি $= a$ cm.
অতএব, $t°$ " " 1 cm " " $= at$ cm ;
এবং $t°$ " " l cm " " $= lat$ cm. (2-2.5)

রৈখিক প্রসারণ গুণাংকের একক। দৈর্ঘ্য যে এককেই প্রকাশ করা হউক না কেন, 2-2.2 বা 2-2.4 সমীকরণ হইতে দেখা যায়, দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি/আদি দৈর্ঘ্য সংখ্যা মাত্র ; উহা প্রকাশ করিতে কোন এককের দরকার হয় না। তাহা হইলে a রাশিটি $1/t$ এককে অর্থাৎ 'প্রতি ডিগ্রী' (per degree) এককে প্রকাশিত হইবে। ডিগ্রী আমরা সেলসিয়াস স্কেলে লইব।

পিতলের রৈ. প্র. গু. 19×10^{-6}/°C বলিতে বুঝায় 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে
1 cm লম্বা পিতলের দৈর্ঘ্য বাড়িবে 19×10^{-6} cm ;
1 m " " " " 19×10^{-6} m ;
1 ft " " " " 19×10^{-6} ft, ইত্যাদি।

কোন ক্ষেত্রে আদি দৈর্ঘ্য l_1, রৈ. প্র. গু. α এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি $t°$ হইলে α-র সংজ্ঞা অনুসারে দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি $l_1\alpha t$ (2-2.5 সমীকরণ)।

অতএব উষ্ণতা বৃদ্ধির পর দৈর্ঘ্য l_2 হইলে, l_1 ও l_2-র সম্পর্ক হইবে

$$l_2 = l_1 + l_1\alpha t = l_1(1+\alpha t) \text{ বা } l_2 - l_1 = l_1\alpha t \qquad (2\text{-}2.6)$$

আদি উষ্ণতা $t_1°$ এবং অন্ত উষ্ণতা $t_2°$ হইলে $t = t_2 - t_1$। অতএব

$$l_2 = l_1\{1+\alpha(t_2 - t_1)\} \qquad (2\text{-}2.7)$$

2-2.1. কয়েকটি পদার্থের α-র মান। নিচে কয়েকটি পদার্থের রৈখিক প্রসারণ গুণাংকের মান প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াসে (per °C) দেওয়া হইল। এগুলি ঘরের উষ্ণতা ও জলের স্ফুটনাংকের মধ্যে α-র গড় মান।

পদার্থ	α (প্রতি °C-তে)	পদার্থ	α (প্রতি °C-তে)
অ্যালুমিনিয়াম	$25{\cdot}5 \times 10^{-6}$	পিতল	$18{\cdot}9 \times 10^{-6}$
কপার	16·7 "	ব্রোঞ্জ	17·7 "
লোহা (ঢালাই)	10·2 "	কাচ (ক্রাউন)	8·5 – 9·7 "
" (ইস্পাত)	10·5 – 11·6 "	" (ফ্লিণ্ট)	7·8 "
প্ল্যাটিনাম	8·9 "	" (পাইরেক্স)	3 "
রূপা	18·8 "	ইনভার (64Fe, Ni)	0·9 "
জিংক	26·3 "	কোয়ার্টজ (গলান)	0·5 "

মূল আন্তর্জাতিক মিটার দণ্ড 90 Pt ও 10 Ir-এর সংকর ধাতুতে তৈয়ারী। ইহার রৈ. প্র. গু. $8{\cdot}7 \times 10^{-6}$/°C।

প্রশ্ন। (1) 10°C-তে এক টুকরা তামার তারের দৈর্ঘ্য 200 cm ; $\alpha = 17 \times 10^{-6}$/°C হইলে 100°C-তে উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

[সমাধান—2-2.6 সমীকরণ প্রয়োগ করিলে $l_1 = 200$ cm ; $t = (100-10) = 90$°C ; l_2-র মান চাই। [উ : 200·306 cm]

[সোজাসুজি 2-2.7 সমীকরণ বা 2-2.1 সমীকরণও প্রয়োগ করিতে পারিতে।]

(2) 15°C-তে এক টুকরা ইস্পাতের দৈর্ঘ্য 60 cm। উষ্ণতা 90°C হইলে উহার দৈর্ঘ্য 0·054 cm বাড়ে। ইস্পাতের রৈখিক প্রসারণ গুণাংক কত ?

[সমাধান—এখানে উষ্ণতা বৃদ্ধি $90-15 = 75$°C, $l_1 = 60$ cm ; $l_2 - l_1 = 0{\cdot}054$ cm। α বাহির করিতে হইবে। 2-2.7 সমীকরণ প্রয়োগ কর। [উ: $\alpha = 12 \times 10^{-6}$/°C]

(3) রেলওয়ে লাইনের প্রতিখণ্ডের দৈর্ঘ্য 15 m। দিনে রাতে চরম ও অবম উষ্ণতা 45°C ও 5°C হইলে, প্রতিখণ্ডের দৈর্ঘ্যের কত পরিবর্তন হইবে ? (রৈ. প্র. গু. $= 12 \times 10^{-6}$/°C)

[সমাধান—উষ্ণতা বৃদ্ধি = 40C°। $l_1 = 15$ m ধর। 2-2.6 সমীকরণ হইতে $l_2 - l_1$ বাহির কর। উ : 0·72 cm]

(4) স্টীলে তৈয়ারি একখানা স্কেলের ক্রমাংকন 0°C-তে সঠিক। উহা দিয়া 30°C-তে একটি পিতলের নলের দৈর্ঘ্য মাপিয়া দেখা গেল দৈর্ঘ্য 4·5 m। 0°C-তে নলের দৈর্ঘ্য কত ? (স্টীলের রৈ. প্র. গু. $= 11 \times 10^{-6}$/°C এবং পিতলের 19×10^{-6}/°C।)

[সমাধান—স্টীল স্কেল উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্যে বাড়ে। সুতরাং উহার দাগগুলির মধ্যের ফাঁকও বাড়ে। 0°C-তে যাহা 1 m ছিল তাহা 30°-তে $1+30\times11\times10^{-6}=1{\cdot}00033$ m হইবে, কিন্তু স্কেল অনুসারে দেখাইবে 1 m। অতএব 30°C নলের আসল দৈর্ঘ্য $4{\cdot}5\times1{\cdot}00033$ m। ইহা ঠাণ্ডা হইয়া 0°C-তে আসিলে দৈর্ঘ্য হইবে $4{\cdot}5\times1{\cdot}00033\,(1-30\times19\times10^{-6})$ = প্রায় 4·499 m।]

2-3. ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাংক ও আয়তন প্রসারণ গুণাংক (Coefficients of surface and volume expansion)। উষ্ণতা পরিবর্তনে যখন আয়তন পরিবর্তন হয়, তখন যে কোন দিকে যেমন রৈখিক প্রসারণ হয় তেমনই বস্তুর ক্ষেত্রফলেরও পরিবর্তন হয়।

ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of superficial (or surface) expansion) বলিতে এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পদার্থের এক একক ক্ষেত্রের যে প্রসারণ হয় তাহা বুঝায়। t_1° ও t_2°-তে কোন বস্তুর কোন অংশের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে S_1 ও S_2 হইলে, ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাংক

$$\beta=\frac{S_2-S_1}{S_1(t_2-t_1)} \qquad (2\text{-}3.1)$$

আয়তন প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of volume expansion) বলিতে এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পদার্থের এক একক আয়তনের যে প্রসারণ তাহা বুঝায়। t_1° ও t_2°-তে কোন বস্তুর আয়তন যথাক্রমে V_1 ও V_2 হইলে উহার পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাংক

$$\gamma=\frac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)} \qquad (2\text{-}3.2)$$

2-2.2, 2-3.1 ও 2-3.2 সমীকরণ তিনটি তুলনা করিয়া দেখিতে পার প্রত্যেক ক্ষেত্রেই প্রসারণ গুণাংক = আলোচ্য রাশির প্রসারণ ÷ (আলোচ্য রাশির আদি মান × উষ্ণতা বৃদ্ধি)। আলোচ্য রাশি হয় দৈর্ঘ্য, নয় ক্ষেত্রফল, নয় আয়তন।

α-র মত β এবং γ কেবল উষ্ণতার ডিগ্রীর মানের উপর নির্ভর করে এবং 'প্রতি ডিগ্রী' এককে প্রকাশিত হয়।

2-3.1 ও 2-3.2 সমীকরণ হইতে লেখা যায়

$$S_2=S_1\,\{1+\beta(t_2-t_1)\} \qquad (2\text{-}3.3)$$

এবং

$$V_2=V_1\,\{1+\gamma(t_2-t_1)\} \qquad (2\text{-}3.4)$$

এই দুই সমীকরণে α-র মত β ও γ t_1° ও t_2°-র মধ্যে প্রসারণের **গড় মান।**

কোন ফাঁপা নলকে উষ্ণ করিলে উহা দৈর্ঘ্যে অবশ্যই বাড়িবে। কিন্তু দেওয়ালের বেধ (thickness) বাড়িয়া দেওয়াল মোটা হওয়ায়, নলের ভিতরের ফাঁক সরু হইবে কি? নলের ভিতরের ফাঁক সরু হইলে নলের ভিতরের ক্ষেত্রফল কমে। কিন্তু উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ক্ষেত্রফল বাড়ার কথা। অতএব নল সরু হইবে **না**; উহার ভিতরের ব্যাস নলের পদার্থের রৈ. প্র. গু. অনুসারে বাড়িবে। আয়তনের ফাঁপা অংশ সম্বন্ধেও এরূপ বিচার প্রযোজ্য; উহাও বাড়িবে। নিরেট হইলে বস্তুটির যেরূপ আচরণ হইত, ফাঁপা হইলেও সেই একইরূপ আচরণ হইবে।

2-3.1. α, β ও γ-র সম্পর্ক। তিনটি প্রসারণ গুণাংক ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। এই সম্পর্ক বাহির করিতে l cm বাহুবিশিষ্ট একটি ঘনক কল্পনা কর। ইহাকে যেন 1C° উষ্ণ করা হইল। ইহাতে ঘনকের প্রতি বাহু $l(1+\alpha)$ cm হইবে (α = রৈ. প্র. গু.)। ঘনকের প্রত্যেক পাশের ক্ষেত্রফল হইবে $l^2(1+\beta)=l^2(1+\alpha)^2=l^2(1+2\alpha+\alpha^2)$; এবং ঘনকের আয়তন হইবে $l^3(1+\gamma)=l^3(1+\alpha)^3=l^3(1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3)$। α-র রাশিটি খুব ছোট হওয়ায় α-র তুলনায় আমরা α^2, α^3 উপেক্ষা করিতে পারি। ($\alpha=10^{-4}$ হইলে $\alpha^2=10^{-8}$ ও $\alpha^3=10^{-12}$।) অতএব উপরের সম্পর্কগুলি হইতে লেখা যায় $1+\beta=1+2\alpha$, এবং $1+\gamma=1+3\alpha$। দেখা যায়

$$\beta\ (\text{ক্ষে. প্র. গু.})=2\alpha \text{ এবং } \gamma\ (\text{আ. প্র. গু.})=3\alpha \quad (2\text{-}3.5)$$

বা

$$\alpha=\tfrac{1}{2}\beta=\tfrac{1}{3}\gamma \quad (2\text{-}3.6)$$

2-3.2. উষ্ণতার সঙ্গে ঘনত্বের পরিবর্তন। ঘনত্ব বলিতে প্রতি একক আয়তনের ভর বুঝায়। উষ্ণতা বাড়িলে আয়তন বাড়ে, কিন্তু ভর ঠিক থাকে। অতএব উষ্ণতা বাড়িলে ঘনত্ব কমিবে।

মনে কর কোন বস্তুর ভর m, এবং $t_1°$ উষ্ণতায় উহার আয়তন V_1 ও ঘনত্ব ρ_1। উহাকে $t_2°$-তে উষ্ণ করিলে উহার আয়তন V_2 ও ঘনত্ব ρ_2 হয়। ঘনত্বের সংজ্ঞা অনুসারে

$$m=V_1\rho_1=V_2\rho_2=V_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\}\rho_2 \quad [\text{2-3.4 সমীকরণ}]$$

$$\therefore\ \rho_2=\frac{\rho_1}{1+\gamma(t_2-t_1)} \quad (2\text{-}3.7)$$

γ খুব ছোট বলিয়া এই সমীকরণের ডান দিক উপরে নিচে $1-\gamma(t_2-t_1)$ দিয়া গুণ করিয়া γ^2 উপেক্ষা করিলে ও $t_2-t_1=t$ লিখিলে পাই

$$\rho_2=\rho_1\{1-\gamma(t_2-t_1)\}=\rho_1(1-\gamma t) \quad (2\text{-}3.8)$$

দুই বিভিন্ন উষ্ণতায় ঘনত্ব জানা থাকিলে 2-3.7 বা 2-3.8 সমীকরণ হইতে γ বাহির করা যায়।

প্রশ্ন। (1) 10m³ মাপের কোন লোহার চৌবাচ্চার দিনে রাতে 40 C° উষ্ণতা পরিবর্তন হয়। লোহার রৈ. প্র. গু = 12×10^{-6}/°C হইলে চৌবাচ্চার আয়তন পরিবর্তন কত হয়?

[সমাধান—এখানে $V_1=10\text{ m}^3$; $t=40$ C°; $\alpha=12\times10^{-6}$/°C। অতএব আয়তন বৃদ্ধি $=V_2-V_1=V_1\gamma(t_2-t_1)=V_1\times3\alpha\times t=10\text{ m}^3\times3\times12\times10^{-6}/°\text{C}\times40\text{ C}°$
$=0{\cdot}0144\text{ m}^3=14{,}400\text{ cm}^3$]

(2) 0°C-তে সীসার ঘনত্ব 11·34 g/cm³। সীসার রৈ. প্র. গু. 28×10^{-6}/°C হইলে 100°C-তে সীসার ঘনত্ব কত?

[সমাধান—আ. প্র. গু. $\gamma=3\times$ রৈ. প্র. গু. $=84\times10^{-6}$/°C। 2-3.8 সমীকরণ অনুসারে $\rho_{100}=\rho_0(1-\gamma t)=11{\cdot}34\text{ g/cm}^3(1-84\times10^{-4})=11{\cdot}25\text{ g/cm}^3$]

2-4. কঠিন পদার্থের প্রসারণের কয়েকটি ফলাফল। উষ্ণতা পরিবর্তনে কঠিন পদার্থের প্রসারণ কোন কোন ক্ষেত্রে আমরা আমাদের সুবিধার জন্য কাজে লাগাইতে পারি। কোথাও বা উহা অসুবিধার সৃষ্টি করে, এবং এই অসুবিধা দূর

করার জন্য বিশেষ ব্যবস্থা করিতে হয়। এখানে আমরা উভয় রকমের কয়েকটি ব্যাপার আলোচনা করিব।

(ক) সুবিধা পাইতে কঠিনের প্রসারণের প্রয়োগ।

(1) গাড়ীর চাকার ধাতব টায়ার (tyre) গরম অবস্থায় চাকায় পরান হয়। ঠাণ্ডা হইলে টায়ার সংকুচিত হয় এবং চাকার গায় খুব জোরে আঁটিয়া থাকে।

উদাহরণ। (1) কোন চাকার ব্যাস 50 cm। 49·9 cm অভ্যন্তরীণ ব্যাসের ইস্পাতের একটি টায়ার উহাতে লাগাইতে হইবে। টায়ার পরাইতে উহাকে অন্তত কত উষ্ণ করা দরকার? (ইস্পাতের রৈ. প্র. গু. $= 11 \times 10^{-6}/^{\circ}C$)

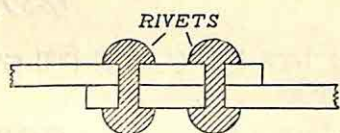
[সমাধান—উষ্ণতা বৃদ্ধিতে টায়ারের ভিতরের ব্যাস 49·9 cm এর জায়গায় 50 cm হইতে হইবে। উষ্ণতা বৃদ্ধি $t^{\circ}C$ হইলে $50 - 49{\cdot}9 = 49{\cdot}9 \times 11 \times 10^{-6} \times t$। অতএব $t = 182{\cdot}2^{\circ}C$]

(2) উপরের প্রশ্নে টায়ারের প্রতি cm² চাকায় কত জোরে আঁটিয়া থাকে হিসাব কর। ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক 2×10^{12} dyn/cm²।

[সমাধান—টায়ার ব্যাসে 50 cm হইতে 49·9 cm হয়। আমরা মনে করিতে পারি কোন বাহ্য বল প্রয়োগে টায়ারকে চাপিয়া উহাকে 0·1 cm খাট করা হইয়াছে। ইয়ং গুণাংকের সংজ্ঞা হইতে এই বলের মান বাহির করা যায়। টায়ার এতটা বলে চাকায় আঁটিয়া থাকে।

$$\text{ইয়ং গুণাংক} = \frac{\text{প্রযুক্ত বল/ক্ষেত্রফল}}{\text{দৈর্ঘ্য পরিবর্তন/আদিদৈর্ঘ্য}} = \frac{1\ \text{cm}^2\text{-এ প্রযুক্ত বল}}{0{\cdot}1\ \text{cm}/50\ \text{cm}}।$$

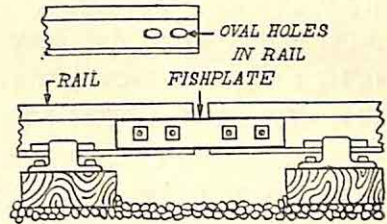
অতএব নির্ণেয় বল $= (0{\cdot}1/50) \times 2 \times 10^{12}$ dyn/cm² $= 4 \times 10^{9}$ dyn/cm²। ইহা প্রায় 4000 kg ওজনের সমান।]

(2) বয়লার (boiler), জাহাজ, লোহার সেতু, বড় বড় বাড়ী, ইস্পাতের কাঠামো প্রভৃতিতে লোহার পাতগুলি রিভেট (rivet) করিয়া জোড়া হয় (2·4 চিত্র)। রিভেট-গুলি গরম অবস্থায় লাগান হয়। ঠাণ্ডা হইলে উহারা দুই অংশকে খুব জোরে টানিয়া ধরে।

চিত্র 2·4

(3) কোন দেওয়াল বাহিরের দিকে হেলিয়া পড়িলে দেওয়ালের আড়াআড়ি ইস্পাতের মোটা দণ্ড চালাইয়া দিয়া উহার সাহায্যে দেওয়াল সোজা করা যায়। দণ্ডের অন্য প্রান্ত কিছুর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকান থাকে। দেওয়ালের বাহিরের দিকে ইস্পাতের মোটা পাতের গর্তের ভিতর দিয়া দণ্ডটি যায়, এবং শক্ত নাট (nut)-এর সাহায্যে পাত দেওয়ালের গায় চাপিয়া রাখা হয়। দণ্ড উষ্ণ করিলে উহা দেওয়ালের বাহিরের দিকে প্রসারিত হয়। তখন নাট ঘুরাইয়া ইস্পাতের পাত আবার দেওয়ালে চাপা হয়। দণ্ড ঠাণ্ডা হইলে উহার সংকোচনের বল দেওয়ালকে ভিতরের দিকে টানিয়া আনে। দরকার মত একাধিক দণ্ড ব্যবহার করা যায়।

(4) কাচের ছিপি বোতলে অনেক সময় এত জোরে আঁটিয়া থাকে যে সাধারণ কোন ব্যবস্থায় উহা খোলা যায় না। বোতলের মুখ সাবধানে গরম করিলে উহা প্রসারিত হয় ও ছিপি সহজে খুলিয়া আসে। ছিপি ধাতুতে তৈয়ারী হইলে ছিপি গরম করিলে উহা খোলা সহজ হয়।

(খ) কঠিনের প্রসারণে অসুবিধা ও অসুবিধা দূর করার ব্যবস্থা।

(1) রেলগাড়ী চলার লাইনগুলি দিনে গরমে প্রসারিত হয় ও রাত্রে ঠাণ্ডায় সংকুচিত হয়। সারা বছরে চরম ও অবম উষ্ণতায় অনেক প্রভেদ হইতে পারে। প্রসারণে যাহাতে লাইনগুলি বাঁকিয়া না যায়, সে জন্য লাইনগুলি খণ্ড খণ্ড রেল (rail) জুড়িয়া তৈয়ারি করা হয়, এবং বসাইবার সময় জোড়ার কাছে দুই খণ্ডে একটু ফাঁক রাখা হয় (2·5 চিত্র)। দু খণ্ড রেল 'ফিস প্লেট' (Fish plate, ইস্পাতের পাত), দিয়া জোড়া থাকে। কিন্তু ফিস প্লেটের বল্টু (Bolt) গুলি রেলের যে গর্ত দিয়া যায় সেগুলিকে গোল না করিয়া একটু লম্বাটে (oval) করা হয়। ইহাতে রেলখণ্ড লম্বায় বাড়িলে বা কমিলে উহার সরিবার জায়গা থাকে।

চিত্র 2·5

ট্রামের লাইনে এরকম করা হয় না। বিদ্যুৎ পরিবহণে যাহাতে বাধা খুব বেশী না হয়, সে জন্য লাইনের খণ্ডগুলি গলাইয়া জোড়া দেওয়া (welding করা) হয়। উষ্ণতা পরিবর্তনে যাহাতে লাইন না বাঁকে, সে জন্য লাইন রাস্তার ভিতরে বসাইয়া পাশের দিকে উহা কংক্রীট বা পাথরে ভাল করিয়া চাপিয়া রাখা হয়। চাপে থাকা ছাড়া ইহাতে লাইনের উষ্ণতা পরিবর্তনও কম হয় কারণ তাপ কংক্রীটে বা পাথরে ছড়াইয়া পড়ে। (রেলের লাইন একেবারে খোলা থাকে বলিয়া উহার উষ্ণতা পরিবর্তন বেশী হয়।)

(2) বড় বড় লোহার সেতুর দুই প্রান্ত যে গাঁথনির উপর থাকে তাহার সঙ্গে সেতু শক্ত করিয়া আঁটা হয় না। দুই প্রান্ত মোটা রোলার (roller)-এর উপর রাখা হয়। ইহাতে সেতুর প্রসারণ বা সংকোচনে গাঁথনি ভাঙ্গে না।

(3) মোটা কাচের পাত্রে গরম জল ঢালিলে পাত্রটি ভাঙ্গিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। জল ঢালিলে পাত্রের ভিতরের দেওয়াল হঠাৎ উষ্ণ হয় ও প্রসারিত হইতে চায়। কিন্তু কাচ তাপ কুপরিবাহী বলিয়া বাহিরের দেওয়াল সঙ্গে সঙ্গে গরম হইয়া প্রসারিত হয় না। ইহাতে ভিতরের দেওয়ালের প্রসারণ জনিত বলে পাত্র ভাঙ্গিয়া যাইতে পারে।

পাত্রের দেওয়াল পাতলা হইলে বা উহার রৈ. প্র. গু. কম হইলে ভাঙ্গিবার আশঙ্কা কমে। সাধারণ কাচের রৈ. প্র. গু. প্রায় $9\times10^{-6}/^{\circ}C$। কিন্তু 'পাইরেক্স' নামে এক বিশেষ উপাদানের (composition-এর) কাচে উহা $3\times10^{-6}/^{\circ}C$। পাইরেক্স কাচ সোজাসুজি আগুনের শিখায় ধরিলেও ফাটে না। কোয়ার্টজ (Quartz) নামে একপ্রকার স্বভাবজাত স্ফটিক (crystal) গলাইয়া আবার কঠিন হইতে দিলে গলান কোয়ার্টজের রৈ. প্র. গু. হয় $0{\cdot}5\times10^{-6}/^{\circ}C$। ইহাতে তৈয়ারী ছোট পাত্র উনানের গরমে লাল করিয়া জলে ডুবাইলেও ইহা ফাটে না।

অনেক সময় গরমে পাথর ভাঙ্গে। কয়লায় উনানে কখন কখন ইহা টের পাওয়া

যায়। গরমে পাথর টুকরার বাহিরের দিক প্রসারিত হয়; কিন্তু পাথর তাপ কুপরিবাহী বলিয়া ভিতরের অংশের বিশেষ পরিবর্তন হয় না। এই অবস্থায় অনেক সময় পাথর খণ্ড সশব্দে ভাঙ্গে।

(4) অধিকাংশ ধাতুর রৈ. প্র. গু. কাচের তুলনায় বেশী। এই কারণে সাধারণ ধাতু গলান কাচের সঙ্গে জোড়া যায় না। ধাতুর প্রসারণ বেশী বলিয়া উষ্ণতা বৃদ্ধিতে জোড়া ভাঙ্গিয়া যায়। অথচ ইলেকট্রিক বাল্‌ব্ প্রভৃতির ভিতরে ধাতু তার নেওয়া দরকার। ইহার জন্য নিকেল, লোহা ও তামার এক বিশেষ সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়। ইহার রৈ. প্র. গু. কাচের সমান।

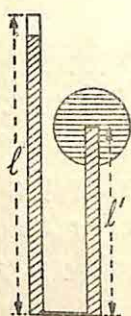
(5) টেলিগ্রাফ, টেলিফোন ও বৈদ্যুতশক্তি বহনের তারগুলি একটু ঢিলা করিয়া থামে লাগান হয়। শীতে উহারা অনেকটা টানটান হয়; গ্রীষ্মে কিছু ঢিলা থাকে।

(6) সূক্ষ্মভাবে দৈর্ঘ্য মাপিবার স্কেলগুলির ক্রমাংকন একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (ধর 20°C-তে) করা হয়। স্কেলে এই উষ্ণতায় যাহা 1 cm, অন্য উষ্ণতায় তাহা একটু আলাদা। কিন্তু স্কেলে সব উষ্ণতায়-ই উহা 1 cm বলিয়া দেখাইবে। সূক্ষ্ম মাপনে ইহার জন্য শুদ্ধি দরকার।

উদাহরণ। কোন পিতলের স্কেলের ক্রমাংকন 20° C-তে সঠিক। এই স্কেল দিয়া 30° C-তে কোন দৈর্ঘ্য মাপিয়া দেখা গেল ঐ দৈর্ঘ্য 50 cm। আসল দৈর্ঘ্য কত? (পিতলের রৈ. প্র. গু. $=19\times10^{-6}/^{\circ}C$)

[সমাধান—20°C-তে স্কেলে যাহা 1 cm তাহা 30°C-তে $(1+10\times19\times10^{-6})$ cm। কাজেই 30°C-তে স্কেলে যে পাঠ 1 cm তাহা আসলে 1·00019 cm। অতএব নির্ণেয় সঠিক দৈর্ঘ্য $=50\times1{\cdot}00019=50{\cdot}0095$ cm।]

(7) পেণ্ডুলাম বা দোলকের শোধন (Correction of a pendulum)। দোলকের দোলনকাল উহার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। গ্রীষ্মকালে গরমে দৈর্ঘ্য বাড়িলে দোলনকাল বাড়ে ও ঘড়ি 'স্লো' (slow) বা ধীরে চলে। শীতে ঠাণ্ডায় দৈর্ঘ্য কমিলে ইহার বিপরীত ক্রিয়া হয়, অর্থাৎ ঘড়ির দোলনকাল কমে ও ঘড়ি 'ফাস্ট' (Fast) বা দ্রুত চলে। ঘড়ি ঠিক সময় দিবে ইহাই কাম্য। অতএব গরমে স্লো যাওয়া বা শীতে ফাস্ট চলা বন্ধ করার ব্যবস্থা করা দরকার। যে দোলকে এরূপ ব্যবস্থা করা আছে তাহাকে **প্রতিবিহিত** বা **প্রতিকারিত দোলক (compensated pendulum)** বলে।

দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য হইল উহার ঘূর্ণন অক্ষ হইতে ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব। উষ্ণতা পরিবর্তনেও যদি এই দৈর্ঘ্য স্থির থাকে, তাহা হইলে দোলনকাল বদলায় না—দোলক প্রতিবিহিত হয়। ইহা করিতে দোলক পিণ্ড (Pendulum bob)-কে দুইটি বিভিন্ন ধাতুদণ্ডের সঙ্গে এমনভাবে লাগান হয় যাহাতে এক দণ্ডের নিচের দিকে প্রসারণ অন্য দণ্ডের উপরদিকে প্রসারণের সমান হয় (2·6 চিত্র)। মনে কর দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্য l ও l', উহাদের রৈ. প্র. গু. যথাক্রমে a ও a' এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি t°। 2·6 চিত্রের মত ব্যবস্থায় l দণ্ডের উপরের প্রান্ত ঘূর্ণন অক্ষে থাকিলে l দণ্ডের নিচের দিকে প্রসারণ lat, এবং l' দণ্ডের উপরের দিকে প্রসারণ $l'a't$। $lat=l'a't$ হইলে

চিত্র 2·6

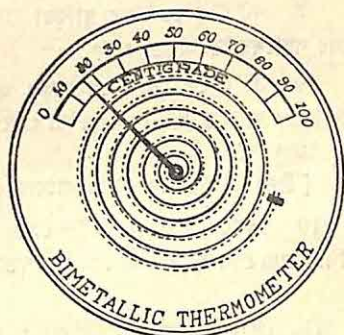
দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বদলাইবে না, এবং উহা প্রতিবিহিত হইবে। অতএব প্রতিবিধানের শর্ত

$$l_a t = l'a't \text{ বা } l_a = l'a' \text{ বা } l/l' = a'/a \qquad (2\text{-}4.1)$$

প্রতি °C-তে লোহার $a = 0.00001$ ও জিংকের 0·000028। কাজেই লোহার দোলকদণ্ডকে প্রতিবিহিত করিতে উহার প্রায় এক-তৃতীয়াংশ দৈর্ঘ্যের জিংক দণ্ড লাগিবে। লণ্ডনে পার্লামেন্ট হাউস (Parliament House)-এর Big Ben নামে বিখ্যাত ঘড়ির দোলক জিংক দিয়া প্রতিবিহিত।

ইনভার (Invar ; Invariable = অপরিবর্তনীয় কথাটি হইতে) নামে 64% লোহা ও 36% নিকেলে তৈরারী সংকর ধাতুর রৈ. প্র. গু. খুব ছোট, মাত্র 0.9×10^{-6}/°C। দোলকদণ্ড ইনভারের হইলে ছোট এক টুকরা পিতলের নলের সাহায্যেই দোলকের প্রতিবিধান হইতে পারে।

2-5. দ্বি-ধাতুক পাতের প্রয়োগ (Use of bimetallic strips)।

অসমান প্রসারণশীলতার দুইটি বিভিন্ন ধাতুর জোড়া পাতের ক্রিয়া আমরা 2-1.1 বিভাগে আলোচনা করিয়াছি। ইহাকে আমরা যুগ্ম-পাত বা দ্বি-ধাতুক পাত বলিব। উষ্ণতা বাড়িলে দ্বি-ধাতুক পাত বাঁকে। বাঁকিয়া উহা কাঁটা ঘুরাইয়া কিভাবে থার্মমিটারের কাজ করিতে পারে তাহা 2·7 চিত্র দেখিলে বোঝা যাইবে। থার্মগ্রাফ (Thermograph) ও থার্মোস্টাট (Thermostat) যন্ত্রে দ্বি-ধাতুক থার্মমিটার ব্যবহার করা হয়। প্রতিপ্রভ আলোর (Fluorescent light-এর) স্টার্টার সুইচে (starter switch-এ) দ্বি-ধাতুক পাতের ব্যবহার আছে।

চিত্র 2·7

একরকম অগ্নিজ্ঞাপক (Fire alarm) যন্ত্রে দ্বি-ধাতুক পাতের বাঁকানকে কাজে লাগান হয়। উষ্ণতা বাড়িলে পাত বাঁকিয়া একটি বৈদ্যুত সার্কিট পূর্ণ করে ; তাহাতে ঘণ্টা বাজে। জাহাজের খোল, গুদামঘর প্রভৃতি যে সকল জায়গায় আগুন লাগিলে টের পাইতে দেরী হয়, সেখানে এরকম যন্ত্রের বিশেষ প্রয়োজনীয়তা আছে।

অনুশীলনী

1. রৈখিক প্রসারণ গুণাংক কাহাকে? কোন বস্তু সম্বন্ধে কথাটি প্রযোজ্য, না বস্তুটি যে পদার্থে তৈয়ারী, তাহা সম্বন্ধে? রৈ. প্র. গু কি এককে প্রকাশিত হয়?

2. কোন পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাংক ও ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাংক বলিতে কি বুঝায়? এই দুই গুণাংকের সঙ্গে ঐ পদার্থের রৈখিক প্রসারণ গুণাংকের সম্পর্ক বাহির কর।

মাঝখানে গর্তওয়ালা একখানা চাকতি উষ্ণ করিলে উহার গর্তের ব্যাস বাড়িবে কি কমিবে বুঝাইয়া বল।

3. (ক) উষ্ণতায় প্রসারণকে আমরা কাজে লাগাইতে পারি এরকম তিনটি উদাহরণ দাও।

(খ) উষ্ণতায় প্রসারণে অসুবিধা হওয়ায় সে অসুবিধা দূর করার ব্যবস্থা করিতে হয় এমন তিনটি উদাহরণ দাও।

4. প্রতিবিহিত (compensated) দোলক কাহাকে বলে? উষ্ণতা পরিবর্তনে দোলকের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন জনিত অসুবিধার প্রতিকার কিভাবে করা যায়? ইহা দরকার হয় কেন?

5. (ক) 35°C-তে কোন অ্যালুমিনিয়াম দণ্ডের দৈর্ঘ্য 240 cm। $\alpha = 26 \times 10^{-6}/°C$ হইলে দণ্ডকে কোন্ উষ্ণতায় তুলিলে উহার দৈর্ঘ্য 0·1 cm বাড়িবে? [উ: 51°C]

(খ) 15°C-তে কোন জিংকদণ্ড 50 cm লম্বা। উষ্ণতা কত হইলে উহার দৈর্ঘ্য 50·05 cm হইবে? ($\alpha = 25 \times 10^{-6}/°C$) [উ: 55°C]

6. ইস্পাতের রৈ. প্র. গু. $= 12 \times 10^{-6}/°C$। ফারেনহাইট স্কেলে উহা কত? 20°C-তে 5m লম্বা রেল বসাইলে মোট 45C° উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য পরপর দুই রেলের মধ্যে কত ফাঁক রাখিতে হইবে? [উ: 0·27 cm]

7. পুরান হাওড়া ব্রিজ (Howrah bridge) 656 m লম্বা। শীতের রাত ও গ্রীষ্মের দুপুরে উষ্ণতা যদি 8°C হইতে 50°C হয়, তবে ব্রিজের প্রসারণ কত হইবে? $\alpha = 12 \times 10^{-6}/°C$ ধর। [উ: 33 cm]

8. 40°C হইতে উষ্ণতা বাড়িয়া 55°C হয়। ইহাতে 5m লম্বা কোন নলের দৈর্ঘ্য 0·15 cm বাড়ে। নলের পদার্থের রৈ. প্র. গু. কত? [উ: $20 \times 10^{-6}/°C$]

9. 35°C-তে কোন গোলকের ব্যাস 2·5 cm। ইহার উষ্ণতা কমপক্ষে কত হইলে গোলক 2·501 cm ব্যাসের আংটার মধ্য দিয়া যাইতে পারিবে না। গোলকের পদার্থের আয়তন প্রসারণ গুণাংক $75 \times 10^{-6}/°C$।

[টীকা—এখানে রৈ. প্র. গু. প্রযোজ্য; $\alpha = \frac{1}{3}\gamma$। [উ: 51°C]

10. পিতলের একখানা মিটার স্কেলের ক্রমাংকন 30°C-তে শুদ্ধ। 55°C-তে উহা দিয়া কোন দৈর্ঘ্য মাপিয়া দেখা গেল ঐ দৈর্ঘ্য 40 cm। পিতলের রৈ. প্র. গু. $= 20 \times 10^{-6}/°C$ হইলে আসল দৈর্ঘ্য কত? [উ: 40·02 cm]

11. কোন চাকার ব্যাস 75 cm। উহাতে 74·8 cm ব্যাসের ইস্পাতের টায়ার পরাইতে হইলে টায়ারকে কত সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণ করিতে হইবে? ইস্পাতের রৈ. প্র. গু. $= 12 \times 10^{-6}/°C$। [উ: 223C°]

12. পিতল ও ইস্পাতের দুটি দণ্ড পাশাপাশি দাঁড় করান আছে। উহাদের নিচের দিক জোড়া, এবং প্রসারণ কেবল উপরদিকে হইতে পারে। ইস্পাত দণ্ড 1 m লম্বা। পিতলের দণ্ড কত লম্বা হইলে উষ্ণতা পরিবর্তনেও দুই দণ্ডের উপরের প্রান্তের মধ্যে দূরত্ব বদলাইবে না? ইস্পাতের $\alpha = 12 \times 10^{-6}/C$; পিতলের $\alpha = 20 \times 10^{-6}/°C$। [উ: 60 cm]

13. কোন পদার্থের রৈখিক প্রসারণ গুণাংক $\alpha/°C$ বলিতে কি বুঝায়? α মাপিবার যে কোন একটি উপায় বর্ণনা কর। এই পরীক্ষায় যে সকল রাশির মান মাপিলে তাহা হইতে α কিভাবে হিসাব করিয়া বাহির করিবে বলিও।

14. 60°C-তে দুখানা সমান মাপের লোহার ও পিতলের পাত দুই প্রান্তে মিলাইয়া রিভেট করিয়া জোড়া হইল? (ক) 30°C ও (খ) 100°C উষ্ণতায় এই যুগ্মপাতের চেহারা মোটামুটি কেমন হইবে ছবি আঁকিয়া বুঝাও।

15. কলিকাতা হইতে দিল্লী পর্যন্ত রেললাইনের দৈর্ঘ্য মনে কর 1500 km। সারা বছরে দিনে রাতে উষ্ণতা পরিবর্তন 50C° এবং রেলের $\alpha = 10 \times 10^{-6}/°C$ ধরিলে, রেলের মধ্যেকার ফাঁকগুলির মোট দৈর্ঘ্য কত হইবে? [উ: 750 m]

16. একটি ইস্পাতের গোলক পিতলের আংটার মধ্য দিয়া চালাইয়া দিতে হইবে। 20°C-তে গোলকের ব্যাস 25·0 cm এবং আংটার ভিতরের দিকের ব্যাস 24·9 cm। যদি গোলক ও আংটা উভয়কে গরম করিয়া ইহা করিতে হয়, তাহা হইলে উহাদের কত ডিগ্রী উষ্ণ করিতে হইবে? ইস্পাতের $\alpha = 12 \times 10^{-6}/°C$ এবং পিতলের $\alpha = 20 \times 10^{-6}/°C$। [উ: প্রায় 500C°]

17. কোন পাইরেক্স ফ্লাস্কের ভিতরের আয়তন 15°C-তে ঠিক 1 লিটার। 35°C-তে ঐ আয়তন কত? পাইরেক্সের রৈ. প্র. গু. $= 3 \times 10^{-6}/°C$। [উ: 1·000181]

18. 20°C-তে অ্যালুমিনিয়ামের ঘনত্ব 2·55 g/cm^3। উহার $\alpha = 25 \times 10^{-6}/°C$ হইলে 0°C ও 100°C-তে উহার ঘনত্ব তুলনা কর। [উ: $\rho_0 : \rho_{100} = 1·005 : 0·994$]

19. তিন টুকরা সোজা পিতলের তার দিয়া একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ গঠন করা হইল। ত্রিভুজের ভূমি 9 cm এবং উচ্চতা 6 cm। উষ্ণতা বাড়িলে ত্রিভুজের কোণ বদলাইবে কি না আলোচনা কর। পিতলের $\alpha = 2 \times 10^{-5}/°C$।

৩ ‖ তরলের প্রসারণ
(Expansion of liquids)

3-1. তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ (Real and apparent expansions of a liquid)। তরলের নিজস্ব কোন আকার নাই ; উহা যখন যে আধারে থাকে তখন সেই আধারের আকার নেয়। কাজেই তরলের ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য প্রসারণ বা ক্ষেত্র প্রসারণ বলার কোন অর্থ হয় না ; উহার আয়তন প্রসারণই একমাত্র বিবেচ্য। তরলের প্রসারণ বলিতে আমরা আয়তন প্রসারণই বুঝিব। ইহা কঠিনের আয়তন প্রসারণের তুলনায় প্রায় দশগুণ। একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সম-আয়তন বিভিন্ন তরলের প্রসারণ বিভিন্ন।

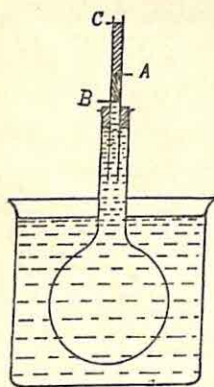
কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্যের মত উষ্ণতার সঙ্গে তরলের আয়তনের সম্পর্ক জটিল। সাধারণভাবে লেখা যায়, 0°C-তে নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের আয়তন V_o ও t°C-তে উহা V_t হইলে

$$V_t = V_o(1 + at + bt^2 + ct^3 + \cdots\cdots)$$

নির্দিষ্ট তরলে a, b, $c\cdots$স্থিররাশি, এবং উহাদের আপেক্ষিক মান (b/a, c/b ইত্যাদি) বেশ ছোট। পারা (Mercury)-র ক্ষেত্রে

$$V_t = V_o(1 + 1{\cdot}8144 \times 10^{-4}t + 7{\cdot}016 \times 10^{-9}t^2 + 2{\cdot}86 \times 10^{-11}t^3 + \cdots)$$

অন্যান্য তরলের প্রসারণের তুলনায় পারার প্রসারণ অনেক সুষম কারণ a-র তুলনায় ইহাতে b অনেক ছোট।

তরলকে উষ্ণ করিলে উহার আধারও উষ্ণ হয় এবং ফলে প্রসারিত হয়। আধারের প্রসারণের জন্য তরলের যথার্থ প্রসারণ কতটা হইল তাহা সঠিক বোঝা যায় না। আপাত দৃষ্টিতে তরলের প্রসারণ যাহা দেখা যায়, তাহা তরলের প্রকৃত প্রসারণের চেয়ে কম। ইহার কারণ তরলের আধারের প্রসারণ।

চিত্র 3·1

প্রদর্শন। তরলের আধারের এবং তরলের প্রসারণ দেখাইবার পরীক্ষা। প্রায় এক লিটার আয়তনের একটি ফ্লাস্ক নিয়া উহা রঙীন জল দিয়া ভর। উহার ছিপির মাঝখানে একটা গর্ত থাকিবে এবং গর্তের ভিতর দিয়া সরু ফাঁকের কাচের একটি নল যাইবে (3.1 চিত্র)। নলটি ভিতরের দিকে ঠেলিয়া বা বাহিরের দিকে টানিয়া এমন জায়গায় রাখ যাহাতে রঙীন জলের উপর তল (level) ছিপির খানিকটা উপরে (A বিন্দুতে) থাকে। ঐখানে একটি দাগ দাও। এখন ফ্লাস্কটি হঠাৎ গরম জলে ডুবাইলে, নলে জলতল প্রথমে খানিকটা (ধর A হইতে B-তে) নামিবে। হঠাৎ গরম লাগায় পাত্র প্রসারিত হওয়ায় এরূপ হয়। তখনও ভিতরের জল গরম হয় নাই। ক্রমশ ফ্লাস্কের ভিতরের জলও উষ্ণ হইতে থাকায় উহারও আয়তন বাড়ে এবং নলে জলতল উপরের

দিকে উঠিয়া A ছাড়াইয়া আরও উপরে কোন স্থানে (ধর C-তে) স্থির হইয়া থাকে। প্রথমে জলতল নামিয়া যাওয়া পাত্রের হঠাৎ প্রসারণের জন্য। পরে জলতল উপরে ওঠা জলের প্রসারণের জন্য। জলের প্রসারণ পাত্রের প্রসারণের চেয়ে বেশী।

3-1.1. তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণে সম্পর্ক (Relation between real and apparent expansions)। 3·1 চিত্রে মনে কর নলে t_1°-তে জলতলের অবস্থান A। পাত্রের উষ্ণতা হঠাৎ t_2°-তে তোলা হইলে কেবল পাত্রের প্রসারণের জন্য জলতল B-তে নামিয়া আসিত, ধরা যাক। পরে জলও t_2° উষ্ণতায় উঠিলে জলতল C-তে দাঁড়াইত মনে করা যাক।

এক্ষেত্রে জলের আপাত প্রসারণ (Apparent expansion) AC, কিন্তু প্রকৃত প্রসারণ (Absolute বা Real expansion) BC। পাত্রের প্রসারণ AB। এই সব প্রসারণই t_1° হইতে t_2°-তে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ঘটিয়াছে। চিত্র হইতে দেখা যায়

$$BC = AC + AB$$

বা প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ

তরলের আপাত প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of apparent expansion) ও প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক (Coefficient of real expansion)। উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় তরলের ক্ষেত্রে প্রসারণ গুণাংক দুই রকমের হইতে পারে—(১) আপাত প্রসারণ গুণাংক ও (২) প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক। **আপাত প্রসারণ গুণাংক** (γ_a) বলিতে এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে এক একক আয়তন তরলের আপাত (অর্থাৎ লক্ষিত ; observed) প্রসারণ বুঝায়। **প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক** (γ_r) বলিতে এক ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে এক একক আয়তন তরলের প্রকৃত প্রসারণ বুঝায়। আধারের প্রসারণ উপেক্ষা করিলে যে গুণাংক পাওয়া যায়, তাহাই আপাত প্রসারণ গুণাংক। উহা উপেক্ষা না করিলে যে গুণাংক হয়, তাহা প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক।

আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ গুণাংকে সম্পর্ক। মনে কর

V_0 = নিম্নতর উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভর তরলের আয়তন ;

$V = t$°C উচ্চতর উষ্ণতায় ঐ তরলের প্রকৃত আয়তন ;

V' = ঐ উষ্ণতায় তরলের আপাত আয়তন ;

γ_r = তরলের প্রকৃত (real) প্রসারণ গুণাংক ;

γ_a = তরলের আপাত (apparent) প্রসারণ গুণাংক।

তাহা হইলে, $V - V_0$ = তরলের প্রকৃত প্রসারণ ;

$V' - V_0$ = তরলের আপাত প্রসারণ।

পাত্রের প্রসারণ = $V_0\gamma_v t$ (γ_v = পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাংক)

জানা আছে, প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ

বা $V - V_0 = (V' - V_0) + V_0\gamma_v t$

উভয় দিক $V_0 t$ দিয়া ভাগ করিলে পাই

$$\frac{V-V_0}{V_0 t}=\frac{V'-V_0}{V_0 t}+\gamma_v$$

সংজ্ঞা অনুসারে, বাঁ দিকের রাশিটি প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক (γ_r) এবং ডানদিকের প্রথম রাশিটি আপাত প্রসারণ গুণাংক (γ_a)। অতএব

$$\gamma_r=\gamma_a+\gamma_v \tag{3-1.1}$$

অর্থাৎ, প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক = আপাত প্রসারণ গুণাংক + পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাংক।

তরলের আদি উষ্ণতা 0°C বা অন্য কিছু (ধর t_1°C) হইতে পারে। t_1C হইতে t_2°C পর্যন্ত উষ্ণ করিয়া যে গুণাংক পাওয়া যায় তাহাকে ঐ দুই উষ্ণতার মধ্যে **গড় গুণাংক** বলে। অনেকে আদি উষ্ণতাকে 0°C ধরা পছন্দ করেন। সে ক্ষেত্রে গুণাংক 0°C ও অন্ত উষ্ণতা $t°=(t_2-t_1)$°C-র মধ্যে গড় মান। আদি উষ্ণতা 0°C ধরিতেই হইবে এরূপ কোন প্রয়োজন নাই। তবে উহা কি নেওয়া হইয়াছে তাহা জানা থাকা দরকার।

t_1°C-তে নির্দিষ্ট ভর তরলের আয়তন $=V_1$ ও t_2°C-তে উহার আয়তন $=V_2$ হইলে t_1° ও t_2°-র মধ্যে তরলের গড় গুণাংক

$$\gamma=\frac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)} \quad \text{বা} \quad V_2=V_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\} \tag{3-1.2}$$

V_2 প্রকৃত আয়তন হইলে এই সমীকরণে $\gamma=\gamma_r$, এবং V_2 আপাত আয়তন হইলে $\gamma=\gamma_a$। নিচের সারণীতে কয়েকটি তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক দেওয়া হইল। এই মানগুলি 18°C-র কাছাকাছি অল্প উষ্ণতার সীমার মধ্যে। যেগুলি এই সীমার বাহিরে তাহা আলাদা বলা আছে।

কয়েকটি তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক (প্রতি °C-তে)

তরল	γ_r	তরল	γ_r
জল (5° – 10°C)	$5{\cdot}3\times10^{-5}$	পারা (Mercury)	$18{\cdot}1\times10^{-5}$
„ (10° – 20°C)	15·0 „	গ্লিসারিন	47 „
„ (20° – 40°C)	30·2 „	বেনজিন	122 „
„ (40° – 60°C)	45·8 „	সালফিউরিক এসিড (বিশুদ্ধ)	56 „
„ (60° – 80°C)	58·7 „		
ক্লোরোফর্ম	127 „	জলপাই তেল	70 „
পেন্‌টেন (pentane)	155 „	কোহল (ইথাইল)	108 „
ইথার	163 „	তার্পিন তেল	96 „

3-2. উষ্ণতা পরিবর্তনে তরলের ঘনত্ব পরিবর্তন। তরলের আধারের প্রসারণ উহার প্রকৃত প্রসারণকে আংশিক চাপা দিলেও তরলের ঘনত্বের পরিবর্তনে

ইহাতে কোন বিঘ্ন হয় না। ঘনত্বের পরিবর্তনের সঙ্গে প্রকৃত প্রসারণ গুণাংকের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক। ধরা যাক

V_0 = নিম্নতর উষ্ণতায় m ভর পদার্থের আয়তন ;

V = t°C উচ্চতর উষ্ণতায় ঐ তরলের প্রকৃত আয়তন ;

ρ_0 = নিম্নতর উষ্ণতায় m ভর পদার্থের ঘনত্ব ;

ρ = উচ্চতর উষ্ণতায় উহার ঘনত্ব ; এবং

γ_r = উষ্ণতার ঐ সীমার মধ্যে তরলের গড় প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক।

তাহা হইলে,

$$\rho_0 = m/V_0, \text{ এবং } \rho = m/V = m/V_0(1+\gamma_r t) = \rho_0/(1+\gamma_r t) \qquad (3\text{-}2.1)$$

1-এর তুলনায় $\gamma_r t$ খুব ছোট হইলে $(1+\gamma_r t)^{-1}$-এর বদলে আমরা $(1-\gamma_r t)$ লিখিতে পারি। অতএব এরূপ ক্ষেত্রে $(\gamma_r t << 1)$

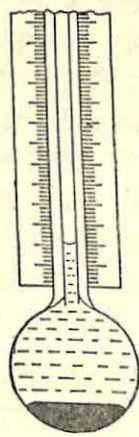
$$\rho = \rho_0(1-\gamma_r t) \qquad (3\text{-}2.2)$$

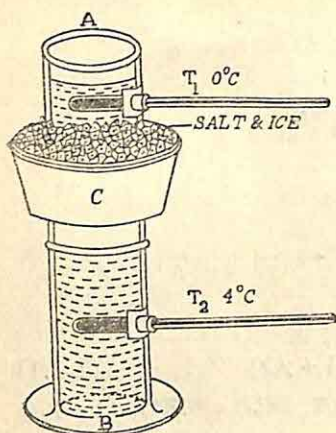
নহিলে $\rho = \rho_0(1+\gamma_r t)^{-1}$ ধরিতে হইবে। আদি উষ্ণতা t_1° ও অন্ত (উচ্চতর) উষ্ণতা t_2° হইলে $t = t_2 - t_1$। t_1° উষ্ণতায় ঘনত্ব ρ_1 ও t_2° উষ্ণতায় ঘনত্ব ρ_2 ধরিলে, 3-2.1 সমীকরণের রূপ হয়

$$\rho_2\{1+\gamma_r(t_2-t_1)\} = \rho_1 \qquad (3\text{-}2.3)$$

3-3. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalous expansion of water)। উষ্ণ করিলে তরলের আয়তন বাড়ে। কিন্তু 0°C উষ্ণতার জল (গলন্ত বরফ জল) ইহার ব্যতিক্রম। 0°C হইতে জলকে ক্রমশ উষ্ণ করিলে জল প্রথমে আয়তনে কমে। আয়তন কমা প্রায় 4°C (সঠিক বলিতে 3·98°C) পর্যন্ত চলে ; তাহার পর আয়তন ক্রমশ বাড়িয়াই চলে। এই কারণে জলের ঘনত্ব 4°C-তে সবচেয়ে বেশী। এই উষ্ণতা সঠিক জানা দরকার, কারণ লিটারের সংজ্ঞায় বলা হইয়াছে, জলের চরম ঘনত্বে উহা এক কিলোগ্রাম জলের আয়তন।

চিত্র 3·2

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ খুব সহজ একটি পরীক্ষার সাহায্যেই দেখা যায়। 3.2 চিত্রে সরু নল লাগান একটি কাচের ফ্লাস্ক দেখান হইয়াছে। নলের সঙ্গে একটি স্কেল আছে। ফ্লাস্কের মোট আয়তনের এক সপ্তমাংশ ($\frac{1}{7}$) পারায় ভরা। বাকী অংশে জল ; জল নলের মধ্যে অল্প একটু উঠিয়া আছে। পারার আয়তন প্রসারণ কাচের তুলনায় সাতগুণ। অতএব, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পারার উপরে ফ্লাস্কের ভিতরের অংশের আয়তন বদলায় না। জলসমেত ফ্লাস্ক খানিকক্ষণ গলন্ত বরফে রাখা হয় ; ইহাতে ভিতরের জল ক্রমশ 0°C উষ্ণতায় পৌছায়। এই

অবস্থায় নলে জলতল কোথায় তাহা দেখিয়া, দরকার হইলে সেখানে একটি দাগ দিয়া নেওয়া হয়। ফ্লাস্ক গলন্ত বরফ হইতে বাহির করিয়া আনিলে উহা ক্রমশ উষ্ণ হইতে থাকে এবং জলের উষ্ণতা বাড়ে। তখন দেখা যায় নলে জলতল নামিয়া আসিতেছে। ইহাতে বোঝা যায় জল 0°C হইতে উষ্ণ হইতে থাকিলে প্রথমে জলের আয়তন কমে। 4°C পর্যন্ত এরূপ চলিতে থাকে। তাহার পর জলতল ক্রমশ উপরে ওঠে।

চিত্র 3·3

হোপ্-এর পরীক্ষা (Hope's experiment)। জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ দেখাইতে এবং উহার ঘনত্ব কোন্ উষ্ণতায় চরম হয় তাহা মাপিতে হোপ্ একটি সহজ পরীক্ষার ব্যবস্থা উদ্ভাবন করেন। একটি লম্বা কাচের পাত্র AB-কে (3·3 চিত্র) ঘরের উষ্ণতায় জলে ভরিয়া উহার মাঝামাঝি বাহিরের দিকে আর একটি পাত্র C-তে চারভাগ বরফ ও একভাগ লবণের হিম-মিশ্রণ (Freezing mixture) রাখা হয়। হিম-মিশ্রণের উষ্ণতা প্রায় −18°C। AB পাত্রের উপরের দিকে ও নিচের দিকে দুটি থার্মমিটার T_1 ও T_2 লাগান। হিম-মিশ্রণ C-তে রাখিবার আগে উহাদের পাঠ দেখিয়া নেওয়া হয়। হিম-মিশ্রণ নিজের কাছাকাছি জলকে ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে জলের উষ্ণতা ক্রমশ কমিতে ও উহার ঘনত্ব বাড়িতে থাকে। ঘনতর জল AB পাত্রে নিচের দিকে যায়। AB-র নিচের দিকের থার্মমিটার T_2-র পাঠ এই কারণে ক্রমশ কমিতে থাকে, এবং শেষ পর্যন্ত দেখা যায় উহা 4°C-তে আসিয়া স্থির হইয়াছে। এতক্ষণ উপরের থার্মমিটার T_1-এর পাঠের কার্যত কোন পরিবর্তন হয় না। T_2-র পাঠ 4°C-তে স্থির হইবার পর T_1-এর পাঠ প্রথমে আস্তে আস্তে কমিতে থাকে। পরে উহা অল্পক্ষণেই 0°C-তে আসিয়া স্থির হয়। ইহা হইতে বোঝা যায় জলের ঘনত্ব 4°C-তে সবচেয়ে বেশী। (খুব সূক্ষ্ম মাপনে দেখা গিয়াছে ইহা 3·98°C-তে হয়।) দুই থার্মমিটারের পাঠ সময়ের সঙ্গে কি ভাবে বদলায় তাহা 3·4 চিত্রে দেখান হইয়াছে।

চিত্র 3·4

মধ্যের অংশের জলের উষ্ণতা কমিয়া কমিয়া যখন 4°C-র নিচে যায় তখন সে জল নিচেও নামে না, বা উপরেও ওঠে না। উপরের জলের উষ্ণতা প্রায় ঘরের উষ্ণতার সমান থাকায় উহা মধ্যের অংশের জলের চেয়ে হালকা থাকে। নিচের জল মধ্যের অংশের জলের চেয়ে ভারী। ক্রমে মধ্যের অংশের জল 0°C-তে পৌঁছায় এবং উহার কিছুটা জমিয়া বরফ হয়। জলের চেয়ে বরফ হালকা বলিয়া উহা ভাসিয়া উপরে ওঠে এবং উপরের জলকে দ্রুত ঠাণ্ডা করিয়া উহার উষ্ণতা 0°C-তে নামায়।

জলের ঘনত্ব 0°C-তে 0·99987 g/cm³ ও 4°C-তে 1·0000 g/cm³। উষ্ণতা বাড়িয়া 8°C হইলে জলের ঘনত্ব 0°C-তে ঘনত্বের সমান হয়। 100°C-তে জলের ঘনত্ব 0·9584 g/cm³।

3-3.1. জল-জন্তুর উপর জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল (Effect of anomalous expansion of water on marine life)। জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল সুদূর-প্রসারী। 4°C-র নিচে জলের আয়তন বাড়ে ও জল হালকা হয়। পুকুর, নদী, সমুদ্রের জল ক্রমশ ঠাণ্ডা হইতে থাকিলে উপরের জল ভারী হইয়া নিচে নামে এবং নিচের উষ্ণজল উপরে ওঠে। এইভাবে সমস্ত জল ক্রমে 4°C উষ্ণতায় পৌছে। তাহার পর উপরের জল ঠাণ্ডা হইলেও তাহা নিচের জলের চেয়ে হালকা হওয়ায় উপরেই থাকিয়া যায়। ক্রমশ ঠাণ্ডা হইয়া উপরের জল জমিয়া বরফ হয়; কিন্তু জল ভাল তাপ-পরিবাহী নয় বলিয়া নিচের জল কার্যত 4°C-তেই থাকে। ফলে উপরে জমাট বরফ থাকা সত্ত্বেও নিচে জল তরল অবস্থায় থাকে, এবং তাহাতে মাছ প্রভৃতি জলচর প্রাণী বাঁচিয়া থাকার সুযোগ পায়। 0°C-র কাছে জলের প্রসারণ ব্যতিক্রান্ত না হইলে জলচর জীব অধিকাংশই মরিয়া যাইত।

অনুশীলনী

1. তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাংক কাহাদের বলে? উহাদের সম্পর্ক বাহির কর।

2. উষ্ণতার সঙ্গে তরলের ঘনত্ব কি ভাবে বদলায়? এ বিষয়ে জলের কি বৈশিষ্ট্য আছে?

3. 0°C উষ্ণতার জল গরম করিলে প্রথমে উহার আয়তন কমে, ইহা কি ভাবে দেখাইবে? জল 4°C-তে ঘনতম ইহা কি ভাবে দেখান যায়?

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ জলচর জীবের পক্ষে সহায়ক কেন?

4. পারাভরা কোন কাচের থার্মমিটারের বাল্‌বের আয়তন 1 cm³। ইহার প্রতি C° দাগ 5 mm লম্বা রাখিতে হইলে কৈশিক নলের প্রস্থচ্ছেদ কত হইবে? কাচ সাপেক্ষে পারার আপাত প্রসারণ গুণাংক 0·00016/°C। [উঃ 0·0032 cm²]

5. (ক) 720 cm³ অভ্যন্তরীণ আয়তনের একটি কাচের ফ্লাস্কে কতখানি পারা রাখিলে উষ্ণতার সঙ্গে বাকী আয়তন বদলাইবে না? পারার প্রকৃত আয়তন প্রসারণ গুণাংক $=18\times10^{-5}$/°C এবং কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাংক $=25\times10^{-6}$/°C। [উঃ 100 cm³]

(খ) 300 cm³ অভ্যন্তরীণ আয়তনের একটি কাচের ফ্লাস্কে কতখানি পারা রাখিলে উষ্ণতার সঙ্গে অভ্যন্তরীণ বাকী আয়তনের কোন পরিবর্তন হইবে না। পারার প্রকৃত আয়তন প্রসারণ গুণাংক =0·00018/°C, কাচের রৈ. প্র. গু. $=9\times10^{-6}$/°C।

[উঃ 45 cm³। সংকেত—একই উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ফ্লাস্কের ও পারার আয়তন প্রসারণ সমান হইতে হইবে। $V_1\gamma_1 t=V_2\gamma_2 t$।]

6. 4°C ও 20°C-র মধ্যে জলের গড় প্রসারণ গুণাংক 0·00015/°C। 20°C-তে এক লিটার জলের ওজন কত? [উঃ 997·6 g]

7. কাচের একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপক বোতলে 0°C-তে ঠিক 500 g পারা আঁটে। উহাকে 80°C পর্যন্ত গরম করিলে কতখানি পারা বাহির হইয়া যাইবে? (পারার প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক $=182\times10^{-6}$/°C, কাচের রৈ. প্র. গু. $=9\times10^{-6}$/°C।) [উঃ 6·12 g]

8. 10 cm ব্যাসের ফাঁপা একটি গোলক পাতলা তামার পাতে তৈয়ারী। উহার সঙ্গে 0·5 cm অভ্যন্তরীণ সুষম ব্যাসের একটি নল লাগান। গোলকটি জলে ভরা এবং জল নলে 10 cm উঠিয়া আছে। গোলকটিকে (ক) হঠাৎ, (খ) আস্তে আস্তে 30°C হইতে 60°C পর্যন্ত গরম করিলে নলে জল-তলের কি পরিবর্তন হইবে?

(তামার রৈ. প্র. গু. $= 16{\cdot}7 \times 10^{-6}/°C$; তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক $= 45 \times 10^{-5}/°C$)

[উঃ (ক) 4 cm নামিবে ; (খ) 32 cm উঠিবে]

9. 100°C উষ্ণতার একটি পারদ স্তম্ভ 0°C উষ্ণতার একটি পারদ স্তম্ভকে প্রতিমিত (balance) করে। উহাদের উচ্চতা যথাক্রমে 50·90 cm ও 50·00 cm। পারার প্রকৃত প্রসারণ গুণাংক কত?

[উঃ 0·00018/°C]

10. খালি অবস্থায় একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপক বোতলের ওজন 16·46 g। 35°C-তে কোন তরলে ভরিলে উহার ওজন হয় 42·48 g এবং 85°C-তে একই তরল ভরা অবস্থায় ওজন হয় 41·39 g। তরলের আপাত প্রসারণ গুণাংক বাহির কর।

[উঃ $87 \times 10^{-5}/°C$]

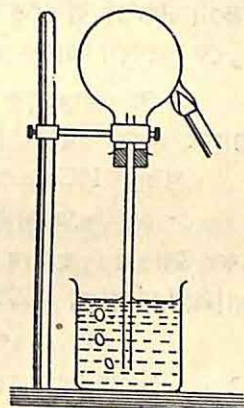
11. কোয়ার্টসের আয়তন প্রসারণ উপেক্ষণীয়। 0°C উষ্ণতার জলের ঠিক সমান আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি কোয়ার্টস্ হাইড্রোমিটার তৈয়ারি করা হইল। উহা বরফজলে ছাড়িয়া জল আস্তে আস্তে ঘরের উষ্ণতা পর্যন্ত গরম হইতে দেওয়া হইল। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে হাইড্রোমিটারের জলে ডোবা অংশের কি রকম পরিবর্তন হইবে?

[টীকা—হাইড্রোমিটারে একটি ভারী বাল্‌বের সঙ্গে সরু ও লম্বা একটি ফাঁপা নল লাগান থাকে। তরলে রাখিলে হাইড্রোমিটার নিজ ওজনের তরল স্থানচ্যুত করিয়া খাড়া ভাবে ভাসে। বেশী ঘন তরলে উহা কম ডোবে, হালকা তরলে ডোবে বেশী।]

12. 0°C-তে কোন পারা থার্মমিটারের বাল্‌বের আয়তন 2 cm^3। উহার নলের ভিতরের ব্যাস 0·2 mm। পারার আয়তন প্রসারণ গুণাংক $182 \times 10^{-6}/°C$ ও কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাংক $24 \times 10^{-6}/°C$ হইলে, থার্মমিটারের নলে প্রতি ডিগ্রী দাগ কতখানি লম্বা?

[উঃ 1 mm]

৪ গ্যাসের প্রসারণ ও আদর্শ গ্যাস (Expansion of gases : Perfect gas)

4-1. সূচনা। একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কঠিনের আয়তন প্রসারণের তুলনায় তরলের প্রসারণ প্রায় দশগুণ বেশী। তরলের তুলনায় গ্যাসের প্রসারণও প্রায় দশগুণ বেশী। চাপ-পরিবর্তনে তরল বা কঠিনের আয়তনের কোন উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না ; কিন্তু চাপ কমিলে গ্যাসের আয়তন বাড়ে। অতএব গ্যাসের উপর উষ্ণতার ক্রিয়া পরীক্ষা করিতে গ্যাসের চাপ স্থির রাখা দরকার। গ্যাসের প্রসারণ আলোচনায় মনে রাখিতে হইবে উহার আয়তন (V) চাপ (P) ও উষ্ণতা (t) উভয়ের উপর নির্ভর করে। t স্থির থাকিলে P ও V-তে সম্পর্ক বয়েল সূত্র (Boyle's law) হইতে পাওয়া যায়।

প্রদর্শন—উষ্ণতা বৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির পরীক্ষা। ইহা খুব সহজেই দেখান যায়। 4·1 চিত্রে একটি ব্যবস্থার আভাস দেওয়া হইয়াছে। কাচের একটি ফ্লাস্কের মুখে ছিপি আঁটিয়া ছিপির ভিতর দিয়া কাচের একটি নল চালাইয়া দিয়া নলের একমুখ এক পাত্র জলে ডুবাও। ফ্লাস্কটি একটি স্ট্যাণ্ডে আটকাইয়া রাখ। বুনসেন শিখার সাহায্যে ফ্লাস্ক একটু একটু করিয়া গরম করা হইতে থাকিলে দেখা যাইবে জলের ভিতরে নলের খোলা মুখ দিয়া বুদ্বুদ বাহির হইয়া যাইতেছে। গরমে ফ্লাস্কের বায়ু প্রসারিত হইয়া নল দিয়া বাহির হয়। ফ্লাস্ক ঠাণ্ডা হইতে দিলে ভিতরের বায়ুর আয়তন কমিবে এবং নল দিয়া ফ্লাস্কে জল ঢুকিবে।

চিত্র 4·1

4-2. চার্লস্ সূত্র (Charles' law)। স্থির চাপে গ্যাসের উষ্ণতা ও আয়তনের সম্পর্ক চার্লস্ সূত্র নামে পরিচিত। **স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাংক** (γ_p) বলিতে চাপ স্থির রাখিয়া নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের উষ্ণতা এক সেলসিয়াস ডিগ্রী (1 C°) বাড়াইলে উহা **0° C-তে নিজ আয়তনের কত ভগ্নাংশ** বাড়ে তাহা বুঝায়। কোন চাপে 0° C-তে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন V_0 এবং t °C-তে একই চাপে উহার আয়তন V_t হইলে, সংজ্ঞা অনুসারে স্থির-চাপ আয়তন প্রসারণ গুণাংক

$$\gamma_p = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} \tag{4-2.1}$$

ইহা হইতে পাই

$$V_t = V_0 (1 + \gamma_p t) \tag{4-2.2}$$

পরীক্ষায় চার্লস্ দেখিতে পান **সকল গ্যাসের স্থিরচাপ আয়তন প্রসারণ গুণাংকের মান একই,** অর্থাৎ সকল গ্যাসের γ_p একই। এই উক্তিকেই **চার্লস্ সূত্র** বলে। কঠিন বা তরলে অনুরূপ কোন আচরণ নাই।

রেনো (Regnault) γ_p-র মান সূক্ষ্মভাবে বাহির করেন এবং দেখেন

$$\gamma_p = 1/273 = 0{\cdot}00366/°C \qquad (4\text{-}2.3)$$

আয়তনিক গুণাংক (Volume coefficient)। রেনোর পাওয়া এই মান ব্যবহার করিয়া চার্লস্ সূত্র একটু অন্যভাবে বলায় সুবিধা বেশী হয়। বলা যায়

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভর যে কোন গ্যাস উষ্ণ করিলে প্রতি সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহা 0° C-তে নিজ আয়তনের 1/273 ভগ্নাংশ বাড়ে। γ_p-কে সংক্ষেপে **আয়তনিক গুণাংক (Volume coefficient)**-ও বলা হয়।

4-3. উষ্ণতার নিরপেক্ষ স্কেল (Absolute scale of temperature)। গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা দেখিলাম $V_t = V_0\,(1 + t/273)$; ইহা 4-2.2 সমীকরণ।

অতএব 1°C-তে আয়তন $V_1 = V_0\,(1 + 1/273)$,

-30°C-তে আয়তন $V_{-30} = V_0\,(1 - 30/273)$, ইত্যাদি।

সকল উষ্ণতায় γ_p-র মান স্থির থাকিলে, অর্থাৎ **সকল উষ্ণতায় গ্যাস চার্লস্ সূত্র মানিয়া চলিলে,** -273°C-তে গ্যাসের আয়তন হইবে

$$V_{-273} = V_0\,(1 - 273/273) = 0.$$

-273°C-র চেয়ে আরও কম উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন এ নিয়মে নিগেটিভ হইতে হয়। আয়তন নিগেটিভ ইহা আমরা কল্পনা করিতে পারি না। কাজেই উষ্ণতা -273°C-র চেয়ে কম হইতে পারে ইহা আমরা সম্ভব মনে করি না। আমাদের কাছে সম্ভাব্য অবম উষ্ণতা -273°C ; ইহাকে আমরা **অ্যাবসলিউট জিরো (Absolute zero** ; পরম শূন্য বা চরম শীতলতা) বলি। উষ্ণতার যে স্কেল অ্যাবসলিউট জিরো হইতে আরম্ভ হয়, তাহাকে **অ্যাবসলিউট স্কেল (Absolute scale)** বলে। সেলসিয়াস স্কেলে অ্যাবসলিউট জিরোর মান -273°C।

অ্যাবসলিউট জিরো বা অ্যাবসলিউট স্কেলের উপরোক্ত সংজ্ঞা খুব সন্তোষজনক নয়। পদার্থবিদ্যার আর একটু উঁচু স্তরে উঠিলে জানিতে পারিবে প্রকৃতি নিম্নতম উষ্ণতার একটা সীমা বাঁধিয়া দিয়াছেন। ইহাকেই অ্যাবসলিউট জিরো বলে। নানা রকম পরীক্ষার সাহায্যে ইহার মান $-273{\cdot}15$°C বলিয়া স্থির করা হইয়াছে। চার্লস্ সূত্র অনুসারেও প্রায় এই মান পাওয়া যায় ইহা আপতিক ঘটনা (accidental)। উষ্ণতার অ্যাবসলিউট বা নিরপেক্ষ স্কেল বলিতে বুঝায় ঐ স্কেল কোন পদার্থের কোন ধর্মের উপর নির্ভর করে না।

গণনায় দেখা যায় কোন গ্যাস সকল চাপ ও উষ্ণতায় বয়েল সূত্র (4-5 বিভাগ) ও চার্লস্ সূত্র মানিয়া চলিলে উহার সাহায্যে উষ্ণতার যে স্কেল পাওয়া যায় তাহা নিরপেক্ষ স্কেলের মত। এরূপ গ্যাসকে **আদর্শ গ্যাস (Perfect gas)** বলে। **আদর্শ গ্যাস স্কেল নিরপেক্ষ স্কেলের শামিল।** যে নিরপেক্ষ স্কেলে বরফের স্বভাবী (normal) গলনাংক ও জলের স্বভাবী স্ফুটনাংকের মধ্যে 100-টি সমান ভাগ (ডিগ্রী)

আছে তাহাকে **কেলভিন স্কেল (Kelvin scale)** বলে। উষ্ণতার এক কেলভিন ডিগ্রী ব্যবধান সেলসিয়াস স্কেলের এক ডিগ্রী ব্যবধানের সমান, অর্থাৎ $1\ K^\circ = 1\ C^\circ$, এবং $T°K = (t + 273{\cdot}15)°C$ বা মোটামুটি $(t + 273)°C$।

4-4. চার্লস্ সূত্রের অন্যরূপঃ উষ্ণতার গ্যাসীয় স্কেল। চার্লস্ সূত্র অনুসারে স্থির চাপে নির্দিষ্ট-ভর গ্যাসের t°C-তে এবং 0°C-তে আয়তন V ও V_0-র সম্পর্ক

$$V = V_0\,(1 + t/273) = V_0\,(273 + t)/273 \qquad (4\text{-}4.1)$$

t°C-কে যদি আমরা $(t + 273)°K = T°K$ এবং 0°C-কে $273°K = T_0°K$ বলি, তাহা হইলে 4-4.1 সমীকরণ হইয়া দাঁড়ায় $V = V_0\,(T/T_0)$

$$\text{বা } \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \qquad (4\text{-}4.2)$$

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের V_0-র মান স্থির। T_0-ও একটি স্থির রাশি। ইহা বরফের গলনাংক। অতএব V_0/T_0 স্থির রাশি। 4-4.2 সমীকরণ হইতে বলা যায় V/T অনুপাতও স্থির রাশি। অতএব

স্থিরচাপে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন উহার নিরপেক্ষ উষ্ণতার (Absolute temperature-এর) সমানুপাতিক। এই উক্তিকে চার্লস্ সূত্রের বিশেষ রূপ মনে করা যায়। গণিতের ভাষায় বলিতে পারি 'P স্থির থাকিলে $V \propto T$', বা

$$\frac{V}{T} = \text{স্থির রাশি, বা } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ ইত্যাদি} \qquad (4\text{-}4.3)$$

4-5. বয়েলের সূত্র (Boyle's law)। চাপ বাড়াইলে সকল পদার্থের আয়তনই কমে। কঠিন ও তরলে সাধারণ অবস্থায় এরূপ চাপ পরিবর্তন উপেক্ষণীয়। কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের সংনম্যতা (চাপে আয়তন কমা) খুব বেশী। চাপ বাড়িলে সহজেই গ্যাসের আয়তন কমে, এবং চাপ কমাইলে আয়তন বাড়ে।

নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ P ও আয়তন V-তে কি সম্পর্ক তাহা ইংরেজ বৈজ্ঞানিক রবার্ট বয়েল (1627-1691) আবিষ্কার করেন। এই সম্পর্ক বয়েল সূত্র (Boyle's law) নামে পরিচিত। সূত্রে বলে

উষ্ণতা স্থির থাকিলে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন উহার চাপের বিষমানুপাতিক (inversely proportional)। ইহার অর্থ স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল স্থির থাকে।

সংকেতে সূত্রটিকে লেখা হয়

$$PV = \text{স্থির রাশি} = K \qquad (4\text{-}5.1)$$

গোড়ায় গ্যাসের চাপ P_1 ও আয়তন V_1, এবং পরে উহারা যথাক্রমে P_2 ও V_2 হইয়া থাকিলে

$$P_1V_1 = P_2V_2 = K \qquad (4\text{-}5.2)$$

প্রশ্ন। (১) 740 mm পারার চাপে খানিকটা গ্যাসের আয়তন 1250 cm^3। উষ্ণতা স্থির থাকিলে 760 mm পারার চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হইবে?

[সমাধান : 4-5.2 সমীকরণ প্রয়োগ কর। এখানে $P_1 = 740$ mmHg (মিলিমিটারে প্রকাশিত পারার চাপকে mmHg লেখা হয়) ; $V_1 = 1250$ cm^3 ; $P_2 = 760$ mmHg ; V_2 বাহির করিতে হইবে। অতএব

$$740 \text{ mmHg} \times 1250 \text{ cm}^3 = 760 \text{ mmHg} \times V_2 \text{ বা } V_2 = 1217 \text{ cm}^3.]$$

(২) 100 mm^3 আয়তনের একটি গ্যাসের বুদ্বুদ 100 মিটার জলের নিচে গঠিত হইল। বায়ু চাপ 76 cm পারার চাপের সমান হইলে ঐ বুদ্বুদ জলের উপরে উঠিয়া আসিলে উহার আয়তন কত হইবে? জলের উষ্ণতা উপরে নিচে সমান বলিয়া ধর।

[সমাধান : জলের নিচে বুদ্বুদের উপর চাপ 100 মিটার জলের চাপ + 76 cm পারার চাপ। উপরে উঠিলে উহার উপর চাপ কেবল 76cm পারার চাপ। অতএব এখানে $P_1 = 100$ মিটার জলের চাপ + 76 cm পারার চাপ = (100 + 10·34) মিটার জলের চাপ (3-11.2 বিভাগ দেখ)। $V_1 = 100$ mm^3 ; $P_2 = 10{\cdot}34$ মিটার জলের চাপ ; V_2 কত বাহির করিতে হইবে। বয়েল সূত্র অনুসারে

110·34 (মিটার জলের চাপ) × 100 mm^3 = 10·34 (মিটার জলের চাপ) × V ;

$\therefore \; V = 1064$ mm^3.]

4-5.1. বয়েল সূত্রের PV গুণফলের মান। 4-5.1 সমীকরণে আমরা এই গুণফলকে K বলিয়াছি, এবং উষ্ণতা স্থির থাকিলে K-র মান স্থির থাকে। K-র মান (১) **গ্যাসের ভর** (২) **উষ্ণতা** এবং (৩) P ও V কি **এককে** প্রকাশিত, তাহার উপর নির্ভর করে।

(১) উষ্ণতা ও চাপ স্থির থাকিলে PV গুণফল গ্যাসের ভরের সমানুপাতিক হয়। এক বায়ুমণ্ডল চাপে 32g অক্সিজেনের আয়তন 0°C উষ্ণতায় 22·4 লিটার। ঐ চাপ ও উষ্ণতায় 16g অক্সিজেনের আয়তন হইবে 11·2 লিটার।

(২) ভর স্থির থাকিলে PV গুণফল গ্যাসের নিরপেক্ষ স্কেলের (Absolute scale-এর) উষ্ণতা T-র সমানুপাতিক হইবে। সংকেতে লেখা যায়

$$PV = RT \tag{4-5.3}$$

এখানে R রাশিটি গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করে এবং R গ্যাসের ভরের সমানুপাতিক (4-6.1 বিভাগ দেখ)।

(৩) ভর ও উষ্ণতা স্থির থাকিলে PV গুণফলের মান P ও V-র এককের উপর নির্ভর করিবে ইহা সহজেই বোঝা যায়। 0°C-তে 32 g অক্সিজেনের এক বায়ুমণ্ডল (1 atmos) চাপে আয়তন 22·4 লিটার।

অতএব এই অবস্থায় $PV = 1 \text{ atmos} \times 22{\cdot}4 \text{ litre} = 22{\cdot}4$ litre-atmos.

1 atmos চাপকে সিজিএস্ এককে লিখিলে উহা $1{\cdot}013 \times 10^6$ dyn/cm^2 হয় (3-11.1 বিভাগ দেখ)। $22{\cdot}4 l = 22400$ cm^3। অতএব এই এককে $PV = 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2 \times 22400 \text{ cm}^3 = 22{\cdot}69 \times 10^9$ erg।

4-5.2. গ্যাসে চাপ ও ঘনত্বের সম্পর্ক (Relation between pressure and density of a gas)। মনে কর স্থির উষ্ণতায় m ভর গ্যাসের P_1 চাপে

আয়তন V_1 ও ঘনত্ব ρ_1, এবং P_2 চাপে আয়তন V_2 ও ঘনত্ব ρ_2। তাহা হইলে

$$m = V_1\rho_1 = V_2\rho_2 \qquad \text{(A)}$$

বয়েল সূত্র অনুসারে $$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad \text{(B)}$$

(B) সমীকরণকে (A) সমীকরণ দিয়া ভাগ করিলে পাই

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2} \tag{4-5.4}$$

বা $$P/\rho = \text{স্থির রাশি} \tag{4-5.5}$$

স্থির উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ ও ঘনত্বের ইহাই সম্পর্ক। এ সম্পর্ক গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করে না। ভাষায় বলা যায় '**উষ্ণতা স্থির থাকিলে গ্যাসের ঘনত্ব উহার চাপের সমানুপাতিক**'। চাপ দ্বিগুণ হইলে ঘনত্বও দ্বিগুণ হইবে।

প্রশ্ন। এস্‌টিপিতে বায়ুর ঘনত্ব 0·001293 g/cm³ হইলে 0°C ও 19 mm পারার চাপে 1 m³ বায়ুর ভর কত?

[সমাধান : 19 mmHg চাপে বায়ুর ঘনত্ব ρ হইলে, উষ্ণতা স্থির আছে বলিয়া

$$\frac{76\,\text{mmHg}}{0{\cdot}001293\ \text{g/cm}^3} = \frac{19\ \text{mmHg}}{\rho} \quad \text{বা} \quad \rho = \frac{19}{76} \times 0{\cdot}001293\text{g/cm}^3.$$

অতএব ভর $m = V\rho = 1\ \text{m}^3 \times (19/76) \times 0{\cdot}001293\ \text{g/cm}^3$

$= (100)^3\ \text{cm}^3 \times (19/76) \times 0{\cdot}001293\ \text{g/cm}^3 = 32{\cdot}3\ \text{g}$.

4-6. আদর্শ গ্যাস (Ideal or Perfect gas)। যে গ্যাস সকল উষ্ণতায় ও চাপে চার্লস্ সূত্র এবং বয়েল সূত্র উভয়কেই মানিয়া চলে তাহাকে **আদর্শ গ্যাস** বলে। যথার্থ বলিতে গেলে কোন আসল গ্যাসই আদর্শ নয়। প্রথমত, যথেষ্ট ঠাণ্ডা করিলে সকল গ্যাসই জমিয়া তরল হয়। দ্বিতীয়ত, চাপ বেশী হইলে PV গুণফল সাধারণত বাড়ে। এই প্রকার ব্যতিক্রম সত্ত্বেও হিলিয়াম, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন অক্সিজেন, বায়ু প্রভৃতি গ্যাসকে আমরা আদর্শ গ্যাস বলিয়াই ধরিব, কারণ ইহাতে গণনা খুব সহজ হয়। যে কোন গ্যাসেরই চাপ যথেষ্ট কম থাকিলে উহার আচরণ আদর্শ গ্যাসের আরও কাছাকাছি হয়। বেশী উষ্ণতায়ও এরূপ হয়।

4-6.1. আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ (Equation of state for a perfect gas)। নির্দিষ্ট ভর কোন পদার্থের আয়তন V, উষ্ণতা T এবং চাপ P সকল অবস্থায়ই সম্পর্কিত অর্থাৎ উহাদের যে কোন দুটির মান স্থির করিয়া দিলে তৃতীয়টির মাত্র একটি মানই হইতে পারে। এরূপ সম্পর্ককে ঐ পদার্থের **অবস্থা-সমীকরণ (Equation of state)** বলে।

আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করা সোজা। (অন্য যে কোন পদার্থে ইহা কঠিন, এবং কার্যত প্রায় অসম্ভব।) উহা এইভাবে করা যায় :

মনে কর নির্দিষ্ট ভর কোন আদর্শ গ্যাসের চাপ P_1, আয়তন V_1 ও নিরপেক্ষ উষ্ণতা T_1।

(১) P_1 স্থির রাখিয়া উষ্ণতা T_1-এর বদলে T_2 করিলে আয়তন V' হইবে। চার্লস্ সূত্র অনুসারে $V' = V_1(T_2/T_1)$।

(২) T_2 স্থির রাখিয়া, চাপ P_1-এর বদলে P_2 করা হইল। নূতন আয়তন V_2 হইলে বয়েল সূত্র অনুসারে

$$P_2V_2 = P_1V' = P_1V_1(T_2/T_1) \text{ বা } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad (4\text{-}6.1)$$

ইহাই **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ।** ইহাতে চার্লস্ সূত্র ও বয়েল সূত্র উভয়েই অন্তর্নিহিত আছে, কারণ $T_1 = T_2$ হইলে $P_1V_1 = P_2V_2$ (বয়েল সূত্র), এবং $P_1 = P_2$ হইলে $V_1/T_1 = V_2/T_2$ (চার্লস্ সূত্র)।

নির্দিষ্ট ভর আদর্শ গ্যাসের চাপ P, আয়তন V ও নিরপেক্ষ উষ্ণতা T হইলে 4-6.1 সমীকরণ অনুসারে $PV/T =$ স্থির রাশি হইবে। R দিয়া এই স্থির রাশি নির্দেশ করিলে R গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করিবে এবং ভরের আনুপাতিক হইবে। এভাবে লিখিলে **আদর্শ গ্যাসের অবস্থা সমীকরণ** বা **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (Perfect** বা **Ideal gas equation)** হইবে $PV/T = R$ বা

$$\boxed{PV = RT} \quad (4\text{-}6.2)$$

ভর দ্বিগুণ হইলে R-ও দ্বিগুণ হইবে।

যে কোন গ্যাসের এক গ্রাম-অণু (gram-molecule বা mole) নিলে সব গ্যাসে R-এর মান একই হয়। **এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ক্ষেত্রে R রাশিটিকে গ্রাম-আণবিক গ্যাস স্থিরাংক বা গ্যাসীয় নিত্যরাশি (Gram-molecular gas constant, Molar gas constant বা Universal gas constant)** বলা হয়। ইহাকে আমরা R_M অক্ষর দিয়া বুঝাইব।

4-6.2. গ্যাসীয় নিত্যরাশি R_M-এর মান। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় (S. T. P.-তে অর্থাৎ এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডল চাপে ও 0°C উষ্ণতায়) এক গ্রাম-অণু গ্যাসের চাপ P_0 (= এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডল) $= 1{\cdot}013 \times 10^6$ dyn/cm²,

T_0 (= গলন্ত বরফের উষ্ণতা) $= 273$°K

$V_0 = 22{\cdot}4$ l (লিটার)।

$$\therefore \quad R_M = \frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2 \times 22400 \text{ cm}^3\text{/mole}}{273^\circ\text{K}}$$

$$= 8{\cdot}31 \times 10^7 \text{ erg per °K per mole (erg °K}^{-1}\text{ mole}^{-1})$$

গ্যাসের ভর n গ্রাম-অণু (mole) হইলে $PV = nR_MT$ হইবে। গ্যাসের ভর m গ্রাম ও উহার আণবিক ভার M হইলে

$$PV = mR_MT/M \quad (4\text{-}6.3)$$

অতএব গ্যাসের ভর এক গ্রাম হইলে $R = R_M/M$ (4-6.4)

একই গ্যাসের বিভিন্ন ভরের ক্ষেত্রে

$$\frac{P_1V_1}{m_1T_1} = \frac{P_2V_2}{m_2T_2} = \frac{R_M}{M} = R \quad (4\text{-}6.5)$$

নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের P, V, T-র যে কোন দুইটি রাশি বদলাইলে তৃতীয় রাশিটি 4-6.1 বা 4-6.2 সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়। একই গ্যাসের ভর আলাদা হইলে 4-6.5 সমীকরণ প্রয়োগ সুবিধার।

প্রশ্ন। (1) এক লিটার বায়ু 27°C হইতে 177°C-ত উষ্ণ করা হইল। উহার আয়তন কত হইবে? [উঃ 1·5 লিটার। (উষ্ণতা কেলভিন স্কেলে নিয়া 4-5.1 সমীকরণ প্রয়োগ কর।)]

(2) 33°C-তে নির্দিষ্ট ভর কোন গ্যাসের চাপ 75 cm পারা। (ক) উষ্ণতা কত ডিগ্রী সেলসিয়াস হইলে চাপ দ্বিগুণ হইবে? গ্যাসের আয়তন স্থির রাখা হইয়াছে মনে কর। (খ) কত উষ্ণতায় চাপ অর্ধেক হইবে তাহাও বাহির কর।

[সমাধান—(ক) এখানে $V_1=V_2$; $T_1=273+33=306°$ K। $P_2=2P_1$ হইতে হইলে $T_2=612°\text{K}=(612-273)°\text{C}=339°\text{C}$ হইবে। (খ) $P_2=\frac{1}{2}P_1$; $T_2=153°\text{K}=(153-273)°\text{C}=-120°\text{C}$।]

(3) নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের উষ্ণতা 47°C, চাপ 75 cm পারা, ও আয়তন 640 cm³। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় আয়তন কত?

[সমাধান—এখানে $P_1=75$ cm পারা, $V_1=640$ cm³, $T_1=(47+273)°$ K। $P_2=76$ cm পারা, $T_2=273°$ K; V_2 বাহির করিতে হইবে। $V_2=539$ cm³.]

(4) প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 9×10^{-5} g/cm³। এক গ্রাম হাইড্রোজেনের গ্যাস স্থিরাংক (R) বাহির কর।

[সমাধান—এখানে $P=76\times13{\cdot}6\times980=1{\cdot}013\times10^6$ dyn/cm²। $V=1/9.10^{-5}$ g/cm³ $=10^5/9$ cm³/g; $T=273°$ K। নির্ণেয় মান $=PV/T=1{\cdot}013\times10^6$ dyn/cm² $\times 10^5/9$ (cm³/g)$\div273°\text{K}=4{\cdot}12\times10^7$ erg °K⁻¹ g⁻¹।]

(5) একটি গ্যাস পাত্রে 12 বায়ুমণ্ডল চাপে 20 kg গ্যাস আছে। চাপা গ্যাস দিয়া কিছুক্ষণ একটি ড্রিল চালাইবার পর দেখা গেল গ্যাসের চাপ 10 বায়ুমণ্ডল হইয়াছে। কতটা গ্যাস খরচ হইয়াছে? উষ্ণতা স্থির আছে ধর।

[সমাধান—4-6.5 সমীকরণ প্রয়োগ কর, কারণ এখানে ভর বিভিন্ন। এখানে $V_1=V_2$ ও $T_1=T_2$; $P_1=12$ atmos; $P_2=10$ atmos; $m_1=20$ kg; m_2 কত বাহির করিতে হইবে। $m_2=16{\cdot}67$ kg। অতএব গ্যাস খরচ $=20-16{\cdot}67=3{\cdot}33$ kg।]

4-7. উষ্ণতা ও চাপ উভয়ের পরিবর্তনে গ্যাসের ঘনত্ব পরিবর্তন। আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (4-6.1 বা 4-6.2) নির্দিষ্ট ভর গ্যাসে প্রযোজ্য। ভর m_1 হইলে গ্যাসের ঘনত্ব $m_1/V_1=\rho_1$। উষ্ণতা ও চাপ বদলাইয়া আয়তন V_2 হইলে ঘনত্ব $m_1/V_2=\rho_2$। অতএব গ্যাস সমীকরণ

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2} \text{ হইতে পাই } \frac{P_1m_1}{\rho_1T_1}=\frac{P_2m_2}{\rho_2T_2}$$

$$\text{বা } \frac{P_1}{\rho_1T_1}=\frac{P_2}{\rho_2T_2} \qquad (4\text{-}7.1)$$

অন্যভাবে লিখিতে পারি $P/\rho T=$ স্থির রাশি (4-7.2)

4-7.1 বা 4-7.2 সমীকরণ চাপ ও উষ্ণতা পরিবর্তনে ঘনত্ব পরিবর্তনের সম্পর্ক প্রকাশ করে।

প্রশ্ন। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় এক লিটার শুষ্ক বায়ুর ভর 1·293 g। 115°C উষ্ণতায় 4 বায়ুমণ্ডল চাপে 3 লিটার বায়ুর ভর কত হইবে।

[সমাধান—4-7.1 সমীকরণ অনুসারে $\rho_2 = (P_2/P_1) \times (T_1/T_2) \times \rho_1 = 4 \times (273/388) \times 1{\cdot}293$ g/l। অতএব ভর $= V_2\rho_2 = 3$ l $\times 4 \times 273/388 \times 1{\cdot}293$ g/l $= 10{\cdot}9$ g।

বিকল্পে, V_2-কে আগে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় আনা চলে। $P_2V_2/T_2 = P_0V_0/T_0$ বা $V_0 = (P_2/P_0) \times (T_0/T_2)V_2 = 4 \times (273/388) \times 3$ l। অতএব ভর $= 12 \times (273/388)$ l $\times 1{\cdot}293$ g/l $= 10{\cdot}9$ g।

4-8. স্থির আয়তনে উষ্ণতার সঙ্গে চাপ বৃদ্ধিঃ চাপগুণাংক (Increase of pressure with rise of temperature at constant volume : Pressure coefficient)। আয়তন স্থির থাকিলে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ অনুসারে

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 = \text{স্থির রাশি} \qquad (4\text{-}8.1)$$

হইবে। ভাষায় বলা যায় **স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভর আদর্শ গ্যাসের চাপ উহার নিরপেক্ষ (বা গ্যাসীয়) উষ্ণতার সমানুপাতিক।** অতএব স্থির আয়তনে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে গ্যাসের চাপ বাড়ে। পরীক্ষায় দেখা যায় 'নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের আয়তন স্থির থাকিলে প্রতি সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার চাপ 0°C-তে নিজ চাপের নির্দিষ্ট এক ভগ্নাংশ বাড়ে'। এই ভগ্নাংশকে গ্যাসের স্থির-আয়তনে **চাপবৃদ্ধি গুণাংক (Pressure coefficient)** বলে। আমরা ইহাকে γ_v দিয়া বুঝাইব।

স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভর কোন গ্যাসের 0°C-তে চাপ P_0, t°C-তে চাপ P এবং চাপবৃদ্ধি গুণাংক γ_v হইলে, t°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে চাপ বৃদ্ধি $P - P_0$। প্রতি সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণতা বৃদ্ধিতে চাপবৃদ্ধি $(P - P_0)/t$। γ_v-র সংজ্ঞা অনুসারে ইহা P_0-র যে ভগ্নাংশ তাহাই γ_v। অতএব

$$\gamma_v = (P - P_0)/P_0t \text{ বা } P = P_0(1 + \gamma_v t) \qquad (4\text{-}8.2)$$

পরীক্ষায় আরও দেখা যায় সকল স্থায়ী গ্যাসে (হিলিয়াম, হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেনে) γ_v কার্যত 1/273, এবং অন্যান্য গ্যাসেও প্রায় ইহার সমান।

প্রশ্ন। কোন গ্যাসের উষ্ণতা 27°C। উষ্ণতা কত °C হইলে স্থির আয়তনে উহার চাপ দ্বিগুণ হইবে ?

[সমাধান—4-8.1 সমীকরণ প্রয়োগ কর। $P_2 = 2P_1$, $T_1 = 27 + 273 = 300$ °K। অতএব $T_2 = 600$° K $= 327$°C।]

4-8.1 আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma_p = \gamma_v$। আদর্শ গ্যাসে স্থির চাপে আয়তন গুণাংক (Volume coefficient) γ_p স্থির আয়তনে চাপ গুণাংক (Pressure coefficient) γ_v-র সমান। ইহা প্রমাণ করিতে মনে কর নির্দিষ্ট ভর কোন আদর্শ গ্যাসের 0°C-তে আয়তন V_0 ও চাপ P_0। (১) চাপ স্থির রাখিয়া উষ্ণতা t°C করিলে নূতন আয়তন $V = V_0 (1 + \gamma_p t)$ হইবে। (২) এখন উষ্ণতা t°C-তে স্থির রাখিয়া চাপ P_0 হইতে বাড়াইয়া এমন মান P-তে আনা হইল যে আয়তন আবার V_0 হয়। বয়েল সূত্র অনুসারে, উষ্ণতা t°C-তে স্থির থাকায়, $P_0V = PV_0$ হইবে। অতএব

$$P_0V_0 (1 + \gamma_p t) = PV_0 \text{ বা } P = P_0 (1 + \gamma_p t). \qquad (A)$$

উপরে যে পরিবর্তনগুলি বর্ণনা করা হইল তাহার ফলে গ্যাসের উষ্ণতা হইবে t°C এবং চাপ হইবে P, অথচ আয়তন একই থাকিবে। 4-8.2 সমীকরণ অনুসারে P ও P_0-র সম্পর্ক হইবে

$$P = P_0 (1 + \gamma_v t) \qquad (B)$$

(A) ও (B) সমীকরণ দুটি তুলনা করিয়া দেখা যায় $\gamma_p = \gamma_v$।

কয়েকটি আসল গ্যাসের γ_p ও γ_v-র প্রতি C°-তে মান নিচে দেওয়া হইল।

গ্যাস	γ_p	γ_v
বায়ু	0·00367	0·00367
H_2	0·00366	0·00366
N_2	0·00367	0·00367
O_2	0·00367	0·00367
He	0·00366	0·00366
CO_2	0·00374	0·00372

গ্যাস যত কম চাপে নেওয়া যায়, দেখা যায় সকল গ্যাসের (এমন কি CO_2-রও) γ_p ও γ_v-র মান তত কাছাকাছি আসিতে থাকে। আদি চাপ খুব কম হইলে সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma_p = \gamma_v = 0·0036608$/°C (=1/273·15) হয়।

লক্ষ্য রাখিও আয়তন গুণাংক (γ_p) ও চাপ গুণাংক (γ_v) উভয়কেই γ দিয়া নির্দেশ করিয়া পাদচিহ্ন p ও v দিয়া দুইয়ে প্রভেদ করা হইয়াছে। পাদচিহ্ন p-তে বুঝায় এ ক্ষেত্রে P অর্থাৎ চাপ স্থির এবং v-তে বুঝায় এ ক্ষেত্রে আয়তন V স্থির। একথা মনে রাখিলে কোন্‌টি কি তাহাতে ভুল হইবে না।

পদার্থবিজ্ঞান সংক্রান্ত আন্তর্জাতিক সংস্থা ভৌতরাশির চিহ্নগুলি সর্বত্র যাহাতে একরকম হয় তাহার সুপারিশ করিয়াছেন। তাঁহারা আয়তন গুণাংককে γ দিয়া ও চাপ গুণাংককে β দিয়া বুঝাইতে বলিয়াছেন।

অনুশীলনী

1. চার্লস্ সূত্রটি কি? উহার সাহায্যে উষ্ণতার একটি স্কেল কি ভাবে পাওয়া যাইতে পারে? বিশেষ শর্ত পূর্ণ হইলে এই স্কেলে উষ্ণতার অবম একটি মান থাকিবে তাহা কি ভাবে দেখাইবে? আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে এই মান সেলসিয়াস স্কেলে কত? উষ্ণতার 'নিরপেক্ষ স্কেল' ও 'অ্যাবসলিউট জিরো' কাহাকে বলে?

2. (ক) নির্দিষ্ট ভর গ্যাস 40°C-তে আছে। চাপ স্থির থাকিলে কত °C-তে আয়তন দ্বিগুণ হইবে?
[উঃ 353°C]

(খ) উপরে বলা গ্যাসের চাপ তিনগুণ বাড়াইয়া উহার উষ্ণতা কত °C করিলে উহা আদি আয়তন পাইবে?
[উঃ 666°C]

3. আদর্শ গ্যাস কাহাকে বলে? উহার অবস্থা-সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর। গ্যাসীয় নিত্যরাশি কাহাকে বলে? উহার মান বাহির কর।

4. (ক) 67°C উষ্ণতায় ও 70 cm পারার চাপে কোন গ্যাসের আয়তন 50 cm^3। 17°C-তে উহার আয়তন 40 cm^3 হইলে চাপ কত? [উঃ 74·6 cm পারা]

(খ) 60°C-তে ও 75 cm পারার চাপে কোন গ্যাসের আয়তন 125 cm^3। চাপ 80 cm ও উষ্ণতা 30°C হইলে নূতন আয়তন কত? [উঃ 106·5 cm^3]

5. একটি পাতলা গ্যাসের বাল্‌বে এক বায়ুমণ্ডল চাপে গ্যাস রাখিয়া উহাকে সম্পূর্ণ বন্ধ করা হইল। বাল্‌ব্ 95 cm পর্যন্ত পারার চাপ সহ্য করিতে পারে। কত °C উষ্ণতায় বাল্‌ব্ ফাটিয়া যাইবে? [উঃ 102°C]

6. কোন বাই-সাইক্‌লের টায়ারে বায়ুর চাপ 30°C-তে 2 বায়ুমণ্ডল। উষ্ণতা বাড়িয়া 40°C হইলে এবং আয়তন ঠিক থাকিলে টায়ারে বায়ু চাপ কত হইবে? [উঃ 2·07 বায়ুমণ্ডল]

7. স্থির চাপে এক লিটার গ্যাস 0°C হইতে 35°C-তে উষ্ণ করিলে উহার আয়তন 128 cm^3 বাড়ে। এই উপাত্তগুলি (data) হইতে চরমশীতলতার মান সেলসিয়াস স্কেলে বাহির কর। [উঃ −273°C]

8. 10°C ও 750 mm পারার চাপে বায়ুর ঘনত্বের সঙ্গে 15°C ও 760 mm পারার চাপে বায়ুর ঘনত্বের অনুপাত বাহির কর। [উঃ $\rho_{10} : \rho_{15} = 1 : 1·004$]

9. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় এক লিটার গ্যাসের ভর 1·562 g। উষ্ণতা 25°C ও চাপ 78 cm পারা হইলে এই অবস্থায় ঐ গ্যাসের এক লিটারের ভর কত হইবে? [উঃ 1·47 g]

10. 10 লিটার আয়তনের কোন পাত্রে এক বায়ুমণ্ডল চাপে গ্যাস আছে। পাত্রের মুখ বন্ধ থাকিলে উহা 0°C হইতে 100°C-তে উষ্ণ করিলে গ্যাসের চাপ কত হইবে? পাত্রের মুখ খোলা থাকিলে এই উষ্ণতা পরিবর্তনে গ্যাসের ভরের কত অংশ বাহির হইয়া যাইবে? [উঃ 1·37 বায়ুমণ্ডল; 100/373]

11. এক লিটার আয়তনের একটি কাচের গোলকের মুখ খোলা রাখিয়া এক বায়ুমণ্ডল চাপে উহাকে 0°C হইতে 100°C-তে উষ্ণ করা হইল। গোলক হইতে কতটা গ্যাস বাহির হইয়া যাইবে? বায়ুর আদি ঘনত্ব = 0·001293 g/cm^3। [উঃ 0·3466 g]

12. কোন গ্যাসকে 15°C হইতে 25°C-তে স্থির চাপে গরম করিলে উহার আয়তন 1 : 1·035 অনুপাতে বাড়ে। এই উপাত্ত হইতে 'অ্যাবসলিউট জিরো'-র মান বাহির কর। [উঃ −270·7°C]

13. গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতার সম্পর্ক সম্বন্ধীয় যে সকল সূত্র আছে তাহাদের উল্লেখ কর এবং সংক্ষেপে উহাদের আলোচনা কর। এই সূত্রগুলি হইতে PV/T = স্থিররাশি সম্পর্কটি স্থাপন কর। সূত্রগুলির যে কোনটি পরীক্ষার সাহায্যে কি ভাবে প্রমাণ করা যাইতে পারে বল।

14. গ্যাসের (ক) আয়তন ও উষ্ণতায়, (খ) আয়তন ও চাপে যে সম্পর্ক আছে তাহা ভাষায় ও গণিতের সংকেতে প্রকাশ কর। ঐ সম্পর্ক দুটি হইতে চাপ ও উষ্ণতায় যে সম্পর্ক হইবে তাহা নির্ণয় কর।

15. একটি কাঁচপাত্রে 65°C-তে বায়ু আছে। স্থির চাপ বায়ুর এক তৃতীয়াংশ ভর বাহির করিয়া দিতে হইলে পাত্রটি কত উষ্ণ করিতে হইবে? [উঃ 226·5°C]

16. গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতা সম্পর্কিত দুইটি মৌলিক সূত্র বল। একটি মাত্র সমীকরণের সাহায্যে উভয়কে প্রকাশ করা যায়, ইহা দেখাও। স্থির চাপে আয়তন গুণাংক কি ভাবে বাহির করা যায়?

এস্. টি. পি.-তে অক্সিজেনের ঘনত্ব 1·429 g/l। 27°C-তে 780 mm পারার চাপে 2·5 লিটার আয়তনের পাত্রে কতটা অক্সিজেন থাকিবে? [উঃ 3·336 g]

17. বয়েল ও চার্লস্ সূত্র দুটি বল। উহাদের সাহায্যে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসে চাপ, উষ্ণতা ও আয়তনে সম্পর্ক বাহির কর। সমীকরণ প্রতিষ্ঠার প্রত্যেকটি ধাপ স্পষ্ট করিয়া বলিও।

স্থির চাপে 13°C-র কোন গ্যাসকে উষ্ণ করিয়া উহার আয়তন দ্বিগুণ করিতে হইলে উহার উষ্ণতা কত হওয়া দরকার? [উঃ 299°C]

18. গ্যাসের আয়তনিক গুণাংক ও চাপগুণাংক কাহাদের বলে? আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে উভয়ে সমান, ইহা প্রমাণ কর।

19. নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :

(ক) চার্লস্ সূত্র ও বয়েল সূত্র দুটি বুঝাইয়া বল।

(খ) আদর্শ গ্যাস কাহাকে বলে? আসল গ্যাসগুলি আদর্শ কিনা আলোচনা কর।

(গ) আদর্শ গ্যাসের অবস্থা সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

(ঘ) উষ্ণতার নিরপেক্ষ স্কেল, অ্যাবসলিউট জিরো ও কেলভিন স্কেল বলিতে কি বুঝায়?

20. 90 cm লম্বা একটি ব্যারোমিটার নলে পারার উপরে একটু বায়ু আছে। আসল বায়ুচাপ যখন 76 cm তখন ব্যারোমিটারের পাঠ 74·5 cm ও উষ্ণতা 15°C। একদিন উষ্ণতা যখন 5°C তখন দেখা গেল ব্যারোমিটারের পাঠ 75·8 cm। সেদিন আসল বায়ুচাপ কত? [উঃ 77·38 cm]

21. একটি স্থির আয়তন গ্যাসপাত্রে গ্যাসের চাপ 0°C-তে 100 cm ও 100°C-তে 130·99 cm পারা। পাত্রটি উষ্ণ জলে রাখিলে গ্যাসের চাপ হয় 125·8 cm পারা। জলের উষ্ণতা কত? [উঃ 83·26°C]

22. 0·02 গ্রাম জল এক লিটার আয়তনের একটি ফ্লাস্কে রাখিয়া ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ করিয়া দেওয়া হইল। ঘরের উষ্ণতা 30°C। জলবিন্দু সম্পূর্ণ বাষ্পিত হইলে ফ্লাস্কে বাষ্পচাপ কত হইবে? [উঃ প্রায় 2·2 cm পারা]

৫ | ক্যালরিমিতি (Calorimetry)

5-1. তাপ পরিমেয় রাশি (Heat is a measurable quantity)। উষ্ণতার প্রভেদের জন্য যে শক্তি এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে যাইতে পারে তাহাকেই আমরা তাপ বলি। কতটা তাপ এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে গেল তাহা মাপা যায়। তাপ মাপনকেই ক্যালরিমিতি (Calorimetry) বলা হয়। বিশেষ অবস্থায় অন্য প্রকার শক্তি যোগ করিয়া কোন বস্তুর উষ্ণতা বাড়ান যায়। কতটা তাপ আসিলে বস্তুটির এই পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধি হইত তাহা বাহির করিয়া তাপের সঙ্গে অন্য শক্তির সমতা কি রকম তাহাও জানা যায়। তাপ মাপিয়া অন্য রাশির মান জানাও ক্যালরিমিতির অন্তর্গত।

5-1.1. তাপের একক (Units of heat)। যে কোন রাশি মাপিতে গেলেই তাহার একটি একক বা মাত্রক (Unit)-এর দরকার হয়। তাপের নানা রকম একক আছে। বিজ্ঞান এককের সংখ্যা কমাইতে চায় বলিয়া বৈজ্ঞানিক মাপনে বর্তমানে তাপের একক হিসাবে জুল্ (Joule) ব্যবহার করা হয়। জুল্ যান্ত্রিক এবং বৈদ্যুতিক শক্তিরও একক। 1948 সালের পর হইতে তাপের একক হিসাবে জুলের প্রচলন শুরু হইয়াছে*। তাহার আগে তাপের একক ধরা হইত ক্যালরি (Calorie ; সংকেত cal)। **একগ্রাম বিশুদ্ধ জলকে 14·5°C হইতে 15·5°C পর্যন্ত গরম করিতে যে পরিমাণ তাপের দরকার হয় তাহাকে এক ক্যালরি বলে।** ক্যালরির সংজ্ঞায় উষ্ণতা উল্লেখ করার দরকার আছে, কারণ বিভিন্ন উষ্ণতায় এক সেলসিয়াস ডিগ্রী গরম হইতে একগ্রাম জল সমান তাপ নেয় না। স্থূল কাজে আমরা যেমন এক cm^3 জলের ভর সকল উষ্ণতায়ই একগ্রাম ধরি, এখানেও স্থূল কাজে সকল উষ্ণতায়ই 1g জলকে 1C° উষ্ণ করিতে এক ক্যালরি তাপ লাগে বলিয়া ধরা হয়। এক যথার্থ ক্যালরি তাপ কত জুলের সমান তাহা যথাসম্ভব সূক্ষ্মতায় মাপা হইয়াছে। এখন ধরা হয়

$$1 \text{ cal} = 4{\cdot}1855 \text{J}$$

ক্যালরি কথাটি উঠাইয়া দিয়া তাহার বদলে জুল্ একক ব্যবহারের সিদ্ধান্ত আন্তর্জাতিক ভাবে 1948 খ্রীঃ-তে গৃহীত হইয়া থাকিলেও অনেক লেখায় এখনও তাহা করা হয় না। আমাদের দেশে ক্যালরির প্রচলন এখনও রহিয়াছে বলিয়া এ বইয়ে আমরা প্রধানত ক্যালরিই ব্যবহার করিব।

5-2. ক্যালরিমিতির মুখ্য রাশিগুলির সংজ্ঞা। ক্যালরিমিতিতে তাপের একক ছাড়া তিনটি রাশি খুবই গুরুত্বপূর্ণ। উহারা হইল (১) আপেক্ষিক তাপ (Specific

---

* এই সময় হইতেই সেন্টিগ্রেড স্কেলের নামকরণ হয় সেলসিয়াস স্কেল।

heat), (২) তাপীয় ধারকতা বা তাপ-ধারিতা (Thermal capacity) এবং (৩) জল-সম (Water-equivalent)। নিচে এগুলি আলোচনা করা হইল।

5-2.1. আপেক্ষিক তাপ (Specific heat)। এক গ্রাম পদার্থকে 1C° উষ্ণ করিতে যে পরিমাণ তাপের দরকার হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** (Specific heat) বলে। আপেক্ষিক তাপের একক হইল 'প্রতি গ্রামে প্রতি °C-তে এক ক্যালরি'। সংকেতে ইহাকে cal/g °C বা cal g^{-1} $°C^{-1}$-রূপে লেখা হয়। আধুনিক বিদেশীয় বইতে cal-এর বদলে J (জুল্) দেখিতে পাইতে পার।

আগে আপেক্ষিক তাপকে একটি অনুপাত বলিয়া ধরা হইত। কোন পদার্থের এক গ্রামকে 1C° উষ্ণ করিতে যে তাপ লাগে ও এক গ্রাম জলকে 1C° উষ্ণ করিতে যে তাপ লাগে এই দুই রাশির অনুপাতকে আপেক্ষিক তাপ বলা হইত। দুইটি একই প্রকার রাশির অনুপাত বলিয়া এই সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক তাপ সংখ্যা মাত্র; ইহার কোন একক নাই। (এই সংজ্ঞা পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের (specific gravity-র) সংজ্ঞার মত। প্রথমে আপেক্ষিক তাপের যে সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে তাহা পদার্থের ঘনত্বের সংজ্ঞার মত।) আপেক্ষিক তাপের এই পূর্বতন সংজ্ঞা (অনুপাত) বর্তমানে পরিত্যক্ত হইয়া থাকিলেও উহার প্রচলন লোপ পায় নাই।

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{\text{1 g পদার্থ 1C° উষ্ণ করিবার তাপ}}{\text{1 g জল 1C° উষ্ণ করিবার তাপ}}$$

কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s cal g^{-1} $°C^{-1}$ বলিতে প্রথম সংজ্ঞা অনুসারে বুঝাইবে ঐ পদার্থের 1 g-কে 1C° উষ্ণ করিতে s ক্যালরি তাপ লাগিবে। পুরান সংজ্ঞা অনুসারে,

$$s = \frac{\text{1 g পদার্থ 1C° উষ্ণ করিবার তাপ}}{\text{1 g জল 1C° উষ্ণ করিবার তাপ}} = \frac{\text{1 g পদার্থ 1C° উষ্ণ করিবার তাপ}}{\text{1 ক্যালরি}}$$

বা 1 g পদার্থ 1C° উষ্ণ করিবার তাপ = s ক্যালরি।

দুই সংজ্ঞায় কোন বিরোধিতা নাই। তবে প্রথমটি সোজা ও অর্থবহ। দ্বিতীয় সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক তাপ লেখা সহজ, কারণ উহা সংখ্যা মাত্র। যদি আপেক্ষিক তাপ = 0·1 বলা হয় তাহা হইলে আমরা বুঝিব 1 g পরিমাণ ঐ পদার্থকে 1 সেলসিয়াস ডিগ্রী (1C°) উষ্ণ করিতে 0·1 ক্যালরি তাপ লাগিবে, বা উহার $s = 0·1$ cal/g °C।

5-2.2. এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপ সঞ্চালনের মূল সূত্র। আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা হইতেই এই সূত্র পাওয়া যায়। কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হইলে

1 g পদার্থ 1C° উষ্ণ করিবার তাপ = s ক্যালরি;

∴ m গ্রাম " " " " = ms ক্যালরি;

এবং m গ্রাম " t C° " " " (Q) = mst ক্যালরি।

সংকেতে লেখা যায় $\boxed{Q = mst}$ (5-2.1)

$t°$ উষ্ণ হইতে কোন বস্তু যে তাপ নেয়, $t°$ শীতল হইতে উহা সমান পরিমাণ তাপ ছাড়ে। অতএব কোন বস্তুর উষ্ণতা পরিবর্তনের ক্ষেত্রে

গৃহীত তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি ;

বর্জিত তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা হ্রাস।

5-2.1 সমীকরণে বিভিন্ন রাশিগুলি একই পদ্ধতির এককে প্রকাশ করিতে হইবে। 5-2.1 সমীকরণই আমাদের আলোচ্য মূল সূত্র।

প্রশ্ন। (1) লোহার আপেক্ষিক তাপ 0·1 cal/g°C হইলে 100 g লোহা 30°C হইতে 100°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে কত তাপ লাগিবে? [উ: 700 cal]

(2) বরফের আপেক্ষিক তাপ 0·5 cal/g°C হইলে 4 kg বরফ 0°C হইতে −10°C পর্যন্ত শীতল হইতে কত তাপ ছাড়িবে? [উ: 20,000 cal]

(3) 100°C হইতে 20°C পর্যন্ত শীতল হইতে 50 g পিতল 360 cal তাপ ছাড়ে। পিতলের আপেক্ষিক তাপ কত? [উ: 0·09 cal/g°C]

(4) 0·1 cal g^{-1} $°C^{-1}$ আপেক্ষিক তাপকে এফপিএস্ পদ্ধতিতে প্রকাশ কর।

[সমাধান—ধর 0·1 cal g^{-1} $°C^{-1} = x$ Br.t.u. lb^{-1} $°F^{-1}$। অতএব

$$x = 0{\cdot}1\ \frac{\text{cal}}{\text{Br.t.u.}} \times \frac{\text{lb}}{\text{g}} \times \frac{°\text{F}}{°\text{C}} = 0{\cdot}1 \times \frac{1}{252} \times 453{\cdot}6 \times \frac{5}{9} = 0{\cdot}1,$$ অর্থাৎ

0·1 cal g^{-1} $°C^{-1}$ = 0·1 Br.t.u. lb^{-1} $°F^{-1}$.]

5-2.3. বিভিন্ন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন। ইহা পরীক্ষার সাহায্যে দেখাইতে একই ভরের বিভিন্ন পদার্থের কয়েকটি গোলক নাও। ফুটন্ত জলে একসঙ্গে উহাদের উষ্ণ করিয়া মোমের মোটা একখানা পাতের উপর উহাদের একে একে রাখ। দেখা যাইবে বিভিন্ন গোলক বিভিন্ন পরিমাণ মোম গলাইয়া কোনটি মোমের মধ্যে কম, কোনটি বেশী ঢুকিয়াছে। ফুটন্ত জলের উষ্ণতা হইতে মোমের গলনাংক পর্যন্ত ঠাণ্ডা হইতে বিভিন্ন গোলকের বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করাই ইহার কারণ। 5-2.1 সমীকরণে সকল গোলকের m ও t একই। Q আলাদা হওয়ার একমাত্র কারণ s আলাদা হওয়া।

নিচে কয়েকটি পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মান দেওয়া হইল। একক cal/g°C।

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
অ্যালুমিনিয়াম	0·210	নিকেল	0·109	কাচ	0·12−0·19
তামা	0·091	প্লাটিনাম	0·032	বরফ	0·502
সোনা	0·030	রূপা	0·056	মার্বল্	0·22
লোহা	0·105	টিন	0·054	রেড়ির তেল	0·508
সীসা	0·030	জিংক	0·092	জলপাই তেল	0·47
পারা	0·033	পিতল	0·088	তার্পিন	0·42

সকল উষ্ণতায় আপেক্ষিক তাপ সমান থাকে না ; তবে পরিবর্তনও বেশী নয়। উপরের মানগুলি 100°C হইতে ঘরের উষ্ণতার মধ্যে গড় মান। বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক তাপ সামান্য আলাদা হইলেও, সাধারণ কাজে উহা 1 cal/g°C ধরা হয়।

5-2.4. তাপ-ধারিতা (Thermal capacity) ও জল-সম (Water equivalent)। কোন বস্তুর **তাপ-ধারিতা** বলিতে 1C° উষ্ণ করিতে যে তাপের দরকার হয় তাহা বুঝায়। বস্তুটির ভর m ও উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হইলে 5-2.1 সমীকরণ অনুসারে ($t=1$ বলিয়া) উহার তাপ-ধারিতা

$$C = ms \text{ cal/°C} \qquad (5\text{-}2.2)$$

হইবে। এই সম্পর্ক হইতে বলা যায় 'কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ উহার এক গ্রাম ভরের তাপ-ধারিতা'।

কোন বস্তুর **জল-সম** বলিতে বস্তুটি 1C° উষ্ণ হইতে যে তাপ নেয়, সেই তাপে যত 'গ্রাম' জল 1C° উষ্ণ হয়, সেই পরিমাণ 'জল' বুঝায়। বস্তুটি 1C° উষ্ণ হইতে উহার তাপ-ধারিতা $C=ms$ পরিমাণ তাপ নেয়। ইহাতে $W=ms$ গ্রাম জল 1C° উষ্ণ হয়। অতএব বস্তুটির জল-সম

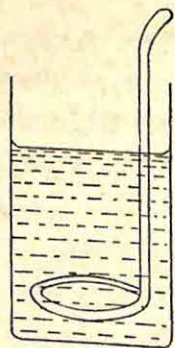
$$W = ms \text{ গ্রাম} \qquad (5\text{-}2.3)$$

5-2.2 ও 5-2.3 সমীকরণ হইতে দেখা যায় কোন বস্তুর তাপ-ধারিতা ও জল-সম একই সংখ্যা (ms), কিন্তু উহাদের একক বিভিন্ন (cal/°C ও g)।

কোন বস্তুর জল-সম W জানা থাকিলে বোঝা যায় tC° উষ্ণ হইতে উহা যে পরিমাণ তাপ নিবে তাহার মান

$$Q = Wt \qquad (5\text{-}2.4)$$

কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ 1 cal/g°C।

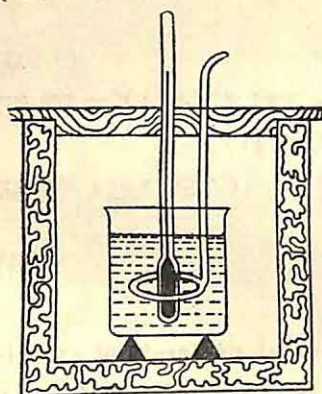
5-3. ক্যালরিমিতির মূল-তত্ত্ব (Fundamental principle of calorimetry)। ক্যালরিমিতির বিভিন্ন উপায় আছে ; ইহাদের বিভিন্ন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। একটি উপায়ের নাম **মিশ্রণ পদ্ধতি (Method of mixture)।** আমরা প্রধানত ইহারই আলোচনা করিব। এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন উষ্ণতার বস্তুকে ক্যালরিমিটার (Calorimeter) নামে সরল গঠনের একটি যন্ত্রে ঘনিষ্ঠ সংস্পর্শে আনা হয়। ক্যালরিমিটার সাধারণত তামায় তৈয়ারী বেলন আকারের একটি পাত্র এবং উহাতে খানিকটা জল (বা অন্য কোন তরল) নেওয়া হয়। জল নাড়িবার জন্য বিশেষ আকারের একটি কাঠি (stirrer) উহার ভিতরে থাকে (5·1 চিত্র)। ক্যালরিমিটারে বিভিন্ন উষ্ণতায় যে সকল বস্তু থাকে তাহাদের উষ্ণতর বস্তুগুলি তাপ বর্জন করে ও শীতলতর বস্তুগুলি সেই বর্জিত তাপ গ্রহণ করিয়া সকলে একই উষ্ণতায় আসে।

চিত্র 5·1

মিশ্রণ-পদ্ধতিতে তাপ মাপিতে আমরা ধরিয়া লই (১) ক্যালরিমিটারের বস্তুগুলির মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না, (২) উহাদের কোনটি ক্যালরিমিটারের তরলে গলে না এবং (৩) ক্যালরিমিটারে বস্তুগুলি একত্র হইবার পর কোন তাপ ক্যালরিমিটারে ঢোকে না বা উহা হইতে বাহির হইয়া যায় না। এই সকল শর্ত পূর্ণ হইলে, শক্তি সংরক্ষিত রাশি বলিয়া, ক্যালরিমিটারে

উষ্ণতর বস্তুর বর্জিত তাপ = শীতলতর বস্তুর গৃহীত তাপ

হইতে হইবে। ইহাই ক্যালরিমিতির মূল-তত্ত্ব।

5-4. ক্যালরিমিতির কাজে সতর্কতা। ক্যালরিমিতির কাজে উপরোক্ত শর্ত-তিনটি, বিশেষ করিয়া শেষেরটি, পূর্ণ করিতে ক্যালরিমিটারের গঠনে এবং কাজের সময় কতকগুলি বিশেষ সতর্কতা অবলম্বন করা দরকার।

(ক) ক্যালরিমিটারের গঠনে সতর্কতা। পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ —এই তিন উপায়ে ক্যালরিমিটারে তাপ আসিতে বা উহা হইতে যাইতে পারে। ইহার সবগুলিই যথাসম্ভব কমাইতে হইবে। পরিবহণ কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটার পাত্রটি অন্য একটি বড় পাত্রের ভিতরে স্থতার সাহায্যে ঝুলাইয়া রাখা যায়, বা উহাকে কর্ক, ফেল্ট বা অন্য কোন তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তিনটি ছুঁচাল টুকরার উপর বসান যায়। পরিচলন কমাইবার জন্য বাহিরের বড় পাত্র ও ক্যালরিমিটারের ফাঁক শুকনা তুলা বা ফেল্ট দিয়া ভরিয়া রাখা যায়। ক্যালরিমিটারের তরলের উষ্ণতা মাপিবার থার্মমিটার ও তরল নাড়িবার কাঠি বড় পাত্রের ঢাকনার ছুটি ছেঁদা দিয়া ভিতরে যাইবে। (5·2 চিত্র) বিকিরণ কমাইতে ক্যালরিমিটারকে পালিশ করিয়া উহার বাহিরের দিক নিকেলে ইলেকট্রোপ্লেট করিয়া নিলে ভাল হয়। বিকিরণে (যথার্থ বলিতে গেলে বিকিরণ ও পরিচলনে) ক্যালরিমিটার হইতে তাপক্ষয় বিশেষ এক রকম হিসাব করিয়া পাওয়া যাইতে পারে। ইহাকে সাধারণত 'বিকিরণ শুদ্ধি' (Radiation correction) বলে। দীর্ঘ বলিয়া এই শুদ্ধির উপায় আমরা আলোচনা করিব না।

চিত্র 5·2

(খ) কাজের সময় সতর্কতা। (১) উষ্ণ বস্তুটির সকল অংশ যাহাতে একই উষ্ণতায় থাকে সেজন্য উহাকে উহার হীটারে (Heater-এ) একটু বেশী সময় ধরিয়া গরম করিতে হইবে; (২) এই স্থির উষ্ণতা সঠিক জানা চাই; (৩) পথে যাহাতে উষ্ণ বস্তুটির তাপক্ষয় না হয় সেজন্য ইহাকে খুব অল্প সময়ের মধ্যে হীটার হইতে ক্যালরিমিটারে নিতে হইবে; (৪) কাজের সময় ক্যালরিমিটারের তরল অনবরত নাড়িতে হইবে—নহিলে উহার সকল অংশের উষ্ণতা সমান না হইতে পারে; (৫) তাপের অন্য

সকল উৎস হইতে ক্যালরিমিটারকে আড়াল রাখিতে হইবে ; (৬) কোন বস্তু ক্যালরিমিটারের তরলে ফেলিবার সময় তরল যাহাতে না ছিটকায় তাহা দেখিতে হইবে।

ক্যালরিমিটারে জলের ব্যবহার খুব প্রচলিত হইলেও ইহাতে একটি অসুবিধা আছে। জলের আপেক্ষিক তাপ সবচেয়ে বেশী (1 cal/g °C)। কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ ইহাতে যোগ করিলে অন্য তরলের তুলনায় ইহার উষ্ণতা পরিবর্তন কম হয়। উষ্ণতা পরিবর্তন কম হইলে মাপনের সূক্ষ্মতাও কমে।

5-5. ক্যালরিমিতিক গণনা (Calorimetric calculations)। মিশ্রণ পদ্ধতির ক্যালরিমিতির সাহায্যে কঠিন বা তরলের আপেক্ষিক তাপ, ক্যালরিমিটারের জল-সম, কোন চুল্লীর উষ্ণতা প্রভৃতি নানাবিধ রাশি মাপা যায়। ইহার জন্য মাত্র **একটি সমীকরণ** স্থাপন করিলেই হয়। বিভিন্ন মাপনে উহার কোন একটি রাশি অজানা থাকে। সমীকরণ সমাধান করিয়া অজানা রাশিটি জানা যায়। নিচে সমীকরণটি স্থাপন করা হইল।

মনে কর m গ্রাম ভরের ও s আপেক্ষিক তাপের কোন বস্তু t_2°C পর্যন্ত উষ্ণ করিয়া M_1 গ্রাম ভর ও s_1 আপেক্ষিক তাপের কোন ক্যালরিমিটারে t_1°C উষ্ণতায় রাখা s' আপেক্ষিক তাপের m' গ্রাম তরলে ফেলা হইল। পরে দেখা গেল সবগুলির সাধারণ উষ্ণতা t°C হইয়াছে। $t_2 > t_1$ ধরিয়া বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ সম্পর্কটি (5-3 বিভাগ) প্রয়োগে আমরা প্রয়োজনীয় সমীকরণটি পাই। সুবিধার জন্য রাশিগুলি আলাদা আলাদা ভাবে পরিষ্কার করিয়া লিখিয়া আমরা সমীকরণটি স্থাপন করিলাম।

পরীক্ষণীয় বস্তুর ভর $= m$ g,
বস্তুর উষ্ণতা $= t_2$°C,
উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s$ (cal/g°C),
নাড়িবার কাঠি সমেত ক্যালরিমিটারের ভর $= M_1$ g,
ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s_1$,
অতএব ক্যালরিমিটারের জল-সম $= M_1 s_1 = W$ g,
ক্যালরিমিটারে নেওয়া তরলের ভর $= m'$ g,
ক্যালরিমিটারের তরলের আপেক্ষিক তাপ $= s'$ (cal/g°C),
ক্যালরিমিটারের তরলের গোড়ার উষ্ণতা $= t_1$°C,
ক্যালরিমিটারের তরলের চরম উষ্ণতা $= t$°C.
(ইহাই সব বস্তুগুলির যৌথ উষ্ণতা)

$t_2 > t_1$ হইলে বস্তুটি তাপ বর্জন করে, এবং ক্যালরিমিটার পাত্র ও উহার ভিতরের বস্তুগুলি বর্জিত তাপ গ্রহণ করিয়া সকলে যৌথ উষ্ণতা t°C-তে আসে। অতএব

উষ্ণ বস্তুর বর্জিত তাপ $= ms(t_2 - t)$ cal
ক্যালরিমিটার তরলে গৃহীত তাপ $= m's'(t - t_1)$ cal
ক্যালরিমিটার পাত্রে গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$ cal

(জলে ডুবান থার্মমিটারে গৃহীত তাপ সামান্য বলিয়া সাধারণ কাজে উহা উপেক্ষা করা হয়।)

$$\therefore \quad ms\,(t_2 - t) = (m's' + W)\,(t - t_1) \qquad (5\text{-}5.1)$$

একটি ছাড়া অন্য সকল রাশির মান জানা থাকিলে এই সমীকরণ হইতে রাশিটির মান জানা যায়। ইহাই আমাদের **নির্ণেয় সমীকরণ।**

ক্যালরিমিটারে জল নেওয়া হইয়া থাকিলে জলের $s' = 1$ বলিয়া 5-5.1 সমীকরণের রূপ হইবে

$$ms\,(t_2 - t) = (m' + W)\,(t - t_1) \qquad (5\text{-}5.2)$$

5-5.1 সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর বাহির কর।

প্রশ্ন। (1) 10 g নুন 97°C পর্যন্ত উষ্ণ করিয়া তার্পিন তেল ভরা ক্যালরিমিটারে ফেলা হইল। তেলের ভর 125 g, আপেক্ষিক তাপ 0·43 এবং উষ্ণতা 32°C হইলে নুনের আপেক্ষিক তাপ কত? ক্যালরিমিটারের জল-সম 15 g এবং যৌথ উষ্ণতা 35°C। [5-5.1 সমীকরণের কেবল s এখানে অজানা রাশি।] [উঃ $s = 0{\cdot}333$ (cal/g°C)]

(2) 50 g ওজনের একখণ্ড লোহা চুল্লীতে গরম করিয়া 30°C উষ্ণতার 240 g জলে ফেলা হইল। জলপাত্রের জল-সম 10 g। যৌথ উষ্ণতা 50°C হইলে চুল্লীর উষ্ণতা কত? লোহার আপেক্ষিক তাপ $= 0{\cdot}1$ cal/g°C।

[সমাধান—নির্ণেয় উষ্ণতা 5-5.1 সমীকরণের t_2। লোহার বর্জিত তাপ $= 50 \times 0{\cdot}1 \times (t_2 - 50)$ cal। জলে ও উহার পাত্রে গৃহীত তাপ $= (240 + 10)\,(50 - 30)$ cal। এই দুই রাশি সমান। অতএব $t_2 = 1050$°C।]

(3) 100 g ভরের এক টুকরা কাচ 95°C পর্যন্ত গরম করিয়া ক্যালরিমিটারে জলপাই তেলের মধ্যে ফেলা হইল। তেলের ভর 120 g; ক্যালরিমিটারের ভর 150 g এবং উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ 0·1। উষ্ণতা 30°C হইতে 45°C-তে উঠিল। কাচের আপেক্ষিক তাপ 0·22 হইলে তেলের আপেক্ষিক তাপ কত?

[সমাধান—কাচের বর্জিত তাপ $= 100 \times 0{\cdot}22 \times (95 - 45) = 1100$ cal। তেলে এবং ক্যালরিমিটারে গৃহীত তাপ $= (120\,s' + 150 \times 0{\cdot}1)\ (45 - 30)$ cal $= (1800\,s' + 225)$ cal। বর্জিত ও গৃহীত তাপ সমান। অতএব $1800\,s' + 225 = 1100$ বা $s' = 0{\cdot}486$।]

(4) কোন ক্যালরিমিটারে 15·3°C-তে 70·2 g জল আছে। উহার সহিত 36·5°C উষ্ণতার 143·7 g জল যোগ করিলে যৌথ উষ্ণতা 28·7°C হয়। ক্যালরিমিটারের জল-সম কত?

[সমাধান—উষ্ণ জলের বর্জিত তাপ $= 143{\cdot}7(36{\cdot}5 - 28{\cdot}7) = 1120{\cdot}86$ cal। ক্যালরিমিটারে গৃহীত তাপ $= W\ (28{\cdot}7 - 15{\cdot}3) = 13{\cdot}4\,W$ cal। ঠাণ্ডা জলে গৃহীত তাপ $= 70{\cdot}2(28{\cdot}7 - 15{\cdot}3)$ $= 940{\cdot}68$ cal। অতএব $13{\cdot}4W + 940{\cdot}68 = 1120{\cdot}86$ বা $W = 13{\cdot}4$ g।

(5) 50 g তামা 98°C-তে উষ্ণ করিয়া 30°C উষ্ণতার 100 g জল ভরা ক্যালরিমিটারে ফেলা হইল। ক্যালরিমিটারের জল-সম 10 g হইলে যৌথ উষ্ণতা কত? তামার আপেক্ষিক তাপ $= 0{\cdot}09$।

[সমাধান—5-5.1 সমীকরণে t অজানা ধরিয়া হিসাব কর। $t = 32{\cdot}7$°C।]

লীনতাপ নির্ণয় (Determination of latent heat)। গলনের লীনতাপ (Latent heat of fusion) নির্ণয় ষষ্ঠ পরিচ্ছেদের 6-2 বিভাগে এবং বাষ্পনের লীনতাপ (Latent heat of vaporization) নির্ণয় 6-13 বিভাগে আলোচিত হইয়াছে।

5-6. তাপ সংক্রান্ত এককগুলি শুদ্ধ ভাবে ব্যবহার করা (Proper handling of thermal units)। যান্ত্রিক রাশির মত তাপ সংক্রান্ত রাশিগুলিরও মৌলিক ও যৌগিক একক আছে। তাপের ক্ষেত্রে যান্ত্রিক রাশিগুলি (দৈর্ঘ্য, ভর, কাল ইত্যাদি) আমরা সিজিএস্ পদ্ধতিতেই ধরি। তাপ ক্যালরিতে এবং উষ্ণতা °C বা °K-তে নেওয়া হয়। (ক্যালরির বদলে জুলও ব্যবহৃত হইতে পারে।) ক্যালরিমিতি বা তাপের অন্য ক্ষেত্রে অঙ্ক কষিতে একক নিয়া ছাত্রেরা অনেক সময় অসুবিধা বোধ করে। কোন সমীকরণ নিয়া অঙ্ক করিতে প্রত্যেক রাশির মানের সঙ্গে তাহার এককের চিহ্নগুলি আগাগোড়া ব্যবহার করিয়া গেলে একক নিয়া কোন অসুবিধা হয় না। **একক চিহ্নগুলি বীজগণিতের রাশির মত ধরিতে হয়।** আপেক্ষিক তাপকে সংখ্যামাত্র না ধরিয়া cal/g°C বা cal g^{-1}°C^{-1} এককে প্রকাশ করায় গোলমাল অনেক কমে। উদাহরণস্বরূপ শেষ অঙ্কটিকে আমরা এই ভাবে কষিয়া দেখিতে পারি।

তামার বর্জিত তাপ $= 50\text{g} \times 0{\cdot}09 \text{ cal g}^{-1}{}^\circ\text{C}^{-1} \times (98 - t)^\circ\text{C}$

$= 50 \times 0{\cdot}09 \times (98 - t) \text{ cal}$

ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডাজলে গৃহীত তাপ $= (10\text{ g} + 100\text{ g})(t - 30)^\circ\text{C} \times 1 \text{ cal g}^{-1}\,{}^\circ\text{C}^{-1}$ কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ $1 \text{ cal g}^{-1}\,{}^\circ\text{C}^{-1}$। এই দুই রাশি সমান। উহা হইতে $t = 32{\cdot}7^\circ\text{C}$ পাওয়া যায়।

অনুশীলনী

1. ক্যালরির সংজ্ঞা দাও।

তাপকে অন্য ক্ষেত্রেও ব্যবহৃত কি এককে প্রকাশ করা যায়? ক্যালরিতে ও উহাতে সম্পর্ক কি? জলের আপেক্ষিক তাপ এই এককে কত?

2. আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দাও। উহা কিরূপ এককে প্রকাশ করা যায়? ক্যালরির সংজ্ঞায় আমরা জলের উষ্ণতার উল্লেখ করি কেন? জলের আপেক্ষিক তাপ কি সকল উষ্ণতায় সমান? সাধারণ কাজে উহার মান কত ধরা হয়?

কোন বস্তু শীতল বা উষ্ণ হইতে যে তাপ বর্জন বা গ্রহণ করে তাহার মান বস্তুর ভর, উহার আপেক্ষিক তাপ এবং উষ্ণতা পরিবর্তনের উপর কিভাবে নির্ভর করে বাহির কর।

3. মিশ্রণ পদ্ধতিতে ক্যালরিমিতিক কাজের মূলতত্ত্ব কি? ইহার জন্য ক্যালরিমিটারের গঠনে ও ব্যবহারে কি কি বিষয়ে এবং কি কি ভাবে সতর্ক হওয়া দরকার?

4. তাপ-ধারিতা এবং জল-সম কাহাদের বলে? উহাদের কোন্‌টি কি এককে প্রকাশিত হয়? আপেক্ষিক তাপের সঙ্গে উহাদের সম্পর্ক দেখাও। সমান আয়তন জল ও পারার তাপ-ধারিতা তুলনা কর। পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব = 13·6 এবং আপেক্ষিক তাপ = 0·033 [উঃ 1 : 0·45]

5. নিচের প্রশ্নগুলির শূন্যস্থান পূর্ণ কর:

ভর	আপেক্ষিক তাপ	উষ্ণতা পরিবর্তন	তাপ
(ক) 50 g	0·09	30°C—90°C	—
(খ) 100 g	0·21	40°C— —	1680 cal
(গ) 20 kg	0·4	20°C–30°C	—

[উঃ (ক) 270 cal ; (খ) 120°C, (গ) 80,000 cal।]

6. 130°C উষ্ণ এবং 20 g ভরের একটি ধাতব গোলক 10 g জল-সমের কোন ক্যালরিমিটারে ফেলা হইল। ক্যালরিমিটারে 0·5 cal g^{-1}°C^{-1} আপেক্ষিক তাপের 50 g তরল আছে। উহার উষ্ণতা 40°C। যৌথ উষ্ণতা 50°C হইলে ধাতুর আপেক্ষিক তাপ কত? [উঃ 0·22 cal/g °C]

7. 25 g জল-সমের কোন ক্যালরিমিটারে 40°C উষ্ণতায় 100 g তেল আছে। 0·1 আপেক্ষিক তাপের ও 50 g ভরের কোন বস্তুকে 120°C পর্যন্ত উষ্ণ করিয়া ক্যালরিমিটারে ফেলা হইলে যৌথ উষ্ণতা 45°C হয়। তেলের আপেক্ষিক তাপ কত? [উঃ 0·5 cal/g °C]

8. 50 g ভরের একটি লোহার গোলা কোন চুল্লীতে কিছুক্ষণ রাখিয়া 1 kg জলভরা ক্যালরিমিটারে ফেলা হইল। ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা 35°C ও জল-সম 125 g। লোহার আপেক্ষিক তাপ 0·12 cal g^{-1}°C^{-1} ও যৌথ উষ্ণতা 40°C হইলে চুল্লীর উষ্ণতা কত? [উঃ 977·5°C]

9. ক্যালরিমিটারে 30°C উষ্ণতায় 500 g জল আছে। উহাতে 90°C উষ্ণতার 200 g জল যোগ করা হইল। যৌথ উষ্ণতা 45·9°C হইলে ক্যালরিমিটারের জল-সম কত? [উঃ 10 g]

10. ক্যালরিমিটারে 23°C-তে 36 g জল আছে। উহাতে 60°C উষ্ণতার এবং 0·42 আপেক্ষিক তাপের 200 g তেল যোগ করায় যৌথ উষ্ণতা 30°C হইল। ক্যালরিমিটারের জল-সম কত? উহার ভর 100 g হইলে উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কত? [উঃ 10 g; 0·1 cal/g °C]

11. কোন ঘরের মাপ 5m × 4m × 4m। উহার বায়ুর উষ্ণতা 20°C, আপেক্ষিক তাপ 0·24 এবং ঘনত্ব 0·00125 g/cm^3। এই বায়ুকে 30°C-তে উষ্ণ করিতে কত ক্যালরি তাপ লাগিবে?

12. 90°C উষ্ণতার 1 kg জল 35°C উষ্ণতার কাচের একটি বোতলে ফেলিলে যৌথ উষ্ণতা 85°C হয়। বোতলের ওজন কত? কাচের আপেক্ষিক তাপ 0·2 cal/g °C। [উঃ 500 g]

13. উনানের উপরে রাখা একটি পাত্র প্রতি সেকেণ্ডে 200 cal তাপ নেয়। ঐ পাত্রে 3 kg জল 30°C হইতে স্ফুটনাংকে তুলিতে কত সময় লাগিবে? পাত্রটি মোট 3000 cal তাপ নেয়।
[উঃ 17 min 45 sec]

14. 50°C হইতে 100°C পাল্লার একটি থার্মমিটার তোমাকে দেওয়া হইল। খানিকটা জল মনে কর 20°C-র নিচে আছে। অন্য কোন থার্মমিটার ব্যবহার না করিয়া কি ভাবে ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা মোটামুটি বাহির করিতে পারা যায়, এমন একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

15. তপ্ত হইয়া লাল হইয়াছে এমন এক টুকরা লোহার উষ্ণতা পারা থার্মমিটার ব্যবহার করিয়া কি ভাবে পাইতে পার? ইহার জন্য কি ব্যবস্থা করিবে এবং উষ্ণতা কি ভাবে হিসাব করিবে, সব বল।

16. 'আপেক্ষিক তাপ এক গ্রাম পদার্থের তাপ-ধারিতা'—এই কথাটির অর্থ স্পষ্ট করিয়া বুঝাও।

কাচের আপেক্ষিক তাপ মাপিবার একটি উপায় বর্ণনা কর। পরীক্ষায় ত্রুটির কারণগুলি কি কি, এবং উহাদের কেমন করিয়া কমান যায়, বল।

17. 200 g ওজনের একটি পিতলের ক্যালরিমিটারে 15°C উষ্ণতার 200 g জলে 450 g ওজনের ও 150°C উষ্ণতার একখণ্ড ধাতু ফেলা হইল। পিতলের আপেক্ষিক তাপ 0·092 হইলে ধাতুখণ্ডের তাপ-ধারিতা কত? [উঃ 44·85 cal/g °C]

18. (ক) একটি তামার পাত্রের ভর 75 g। তামার পাত্রের আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে পাত্রটির তাপ-ধারিতা ও জল-সম উপযুক্ত এককে প্রকাশ কর। [উঃ 7·5 cal/°C ও 7·5 g]

(খ) দুইটি পদার্থের ঘনত্বের অনুপাত 2 : 3 এবং উহাদের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0·12 ও 0·09। পদার্থ-দুটির একক আয়তনের তাপ-ধারিতার অনুপাত কত হইবে? [উঃ 8 : 9]

৬ পদার্থের অবস্থান্তর ঃ গলন ও স্ফুটন
(Change of State : Melting and Boiling)

6-1. লীনতাপ ও উহার ক্রিয়া (Latent heat and its action)। তাপযোগে পদার্থের উষ্ণতা বাড়ে। কেলাসিত কঠিন পদার্থে অণুগুলি নির্দিষ্ট একটা জ্যামিতিক সজ্জায় সাজান থাকে, এবং প্রত্যেক অণু নিজ নিজ অবস্থানে অতি দ্রুত কাঁপিতে থাকে। উষ্ণতা বাড়িলে উহাদের কম্পনের গতিশক্তি বাড়ে ও কম্পনের বিস্তার (amplitude) বড় হয়।

গলনের সময় পদার্থে যে তাপশক্তি যোগ করা হয়, তাহা পদার্থের উষ্ণতা না বাড়াইয়া কঠিনের সঙ্গে তরল অংশের অনুপাত বাড়াইতে থাকে। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্তখানি কঠিন পদার্থ গলিয়া তরল না হয়, ততক্ষণ উষ্ণতা স্থির থাকে ও তরল অংশ বাড়িতে থাকে। তাহার পর তরলের উষ্ণতা বাড়ে।

উষ্ণতা পরিবর্তন না ঘটাইয়া **এক গ্রাম** কঠিন পদার্থকে তরল অবস্থায় পরিণত করিতে যে পরিমাণ তাপের দরকার হয় তাহাকে ঐ পদার্থের **গলনের লীনতাপ (Latent heat of fusion)*** বলে। লীনতাপ cal/g এককে প্রকাশ করা হয়। ঐ পদার্থ তরল অবস্থা হইতে কঠিনে পরিণত হইলে একই পরিমাণ তাপ ছাড়িয়া দেয়। (পদার্থ বিশুদ্ধ না হইলে গলনের সময় উষ্ণতা একটু বাড়ে। তবুও গলিতে অতিরিক্ত তাপ লাগে বলিয়া এক্ষেত্রেও লীনতাপ কথাটি ব্যবহার করা হয়।)

লীনতাপ কঠিনের অণুগুলির কম্পনের বিস্তার না বাড়াইয়া উহার জ্যামিতিক সজ্জা ভাঙ্গিয়া উহাকে তরলে পরিণত করে। এই তাপযোগে উষ্ণতা বাড়ে না বলিয়া উহাকে **লীন (latent)** তাপ বলা হয়।

'বরফের লীনতাপ 80' বলিলে বুঝায় এক গ্রাম বরফকে উষ্ণতা পরিবর্তন না করিয়া গলাইয়া তরল জলে পরিণত করিতে 80 cal তাপ দরকার হয়। এক গ্রাম জল একই উষ্ণতায় জমিয়া বরফে পরিণত হইলে 80 cal তাপ বর্জন করিবে।

খুব শীতের দেশে রাত্রে ঘরের বা গ্রীন হাউসের** উষ্ণতা 0°C-র নিচে চলিয়া যাইতে পারে। কিন্তু ঘরে অগভীর পাত্রে যথেষ্ট জল রাখিলে জল জমিয়া হিমনের লীনতাপ (80 cal/g) ছাড়ে। ইহাতে ঘরের উষ্ণতা 0°C-র বিশেষ নিচে যাইতে পারে না। বেশী ঠাণ্ডায় ফল, তরকারি, মাংস প্রভৃতি খাদ্যদ্রব্যের গুণ কমিয়া যায়। যে ঘরে ঐ সব রাখা হয়, সেখানে কয়েক পাত্র জলও রাখিলে এরূপ ক্ষতি হয় না।

লীনতাপ বাহির করিয়া না নিলে তরলের শিলন হয় না। কেবল হিমাংকে আনিলেই তরল জমে না। এক চাপ বরফে একটি গর্ত করিয়া উহাতে জল

---

* বর্তমানে এক গ্রাম পদার্থের লীনতাপ বুঝাইতে Specific latent heat কথাটি ব্যবহৃত হয়। আমরা বাংলায় ইহাকে 'লীনতাপাংক' বলিতে পারি।

* * গ্রীন হাউস (Green house) গাছপালা রাখিবার কাঁচের ঘর।

গলনাংক ও লীনতাপের সারণি

পদার্থ	গলনাংক (°C)	লীনতাপ (cal/g)
অ্যাসেটিক এসিড	16·7	44·7
অ্যামোনিয়া	−77·7	108
বেনজিন	5·5	30·1
গ্লিসারিন	20	48
বরফ	0	79·7
সীসা	327	6
পারা	−39	2·8
সালফিউরিক এসিড	10·5	24
টিন	232	14

রাখিলে জলের উষ্ণতা অচিরেই 0°C হইবে। কিন্তু যতক্ষণই জল এভাবে রাখা যাক না কেন, জল জমিয়া বরফ হইবে না। এক শিশি জলকে বরফে ঢাকিয়া রাখিলেও উহা জমিবে না। জমাইতে হইলে তরলকে হিমাংকে আনিয়া উহা হইতে লীনতাপ বাহির করিয়া নিতে হইবে। ইহার জন্য তরলের বাহিরে উষ্ণতা হিমাংকের চেয়ে কম করিতে হইবে।

কঠিন পদার্থকে গলনাংকে রাখিলেই উহা গলিবে না ; উহাতে লীনতাপ যোগ করিতে হইবে। এক টুকরা বরফকে আমরা নিজ হইতেই গলিতে দেখি। কিন্তু উহা শুধু গলনাংকে (0°C-তে) নাই ; উহা আশপাশ হইতে প্রধানত পরিবহণ ও বিকিরণে তাপ পাইতেছে। বরফের উষ্ণতার চেয়ে ঘরের উষ্ণতা কম হইলে এ ভাবে বরফ গলিত না।

6-2. বরফের লীনতাপ নির্ণয়। তারের জাল লাগান নাড়িবার কাঠি সমেত একটি পরিষ্কার ও শুকনা ক্যালরিমিটার পাত্র নিয়া উহা ওজন কর। উহাতে জল ভরিয়া আবার ওজন কর। জলের উষ্ণতা দেখ। ছোট এক কি দু-টুকরা বরফ নিয়া ব্লটিং কাগজে উহার গায়ের জল শুষিয়া বরফ ক্যালরিমিটারে ফেল। তারের জালে বরফ জলের নিচে চাপিয়া কাঠি দিয়া জল নাড়। জলের উষ্ণতা ক্রমশ কমিবে, কারণ বরফ গলিতে ঐ জল হইতে লীন তাপ নিতেছে। জলের উষ্ণতা সবচেয়ে কম কত হয় দেখ। এবার ক্যালরিমিটারকে ঘরের উষ্ণতায় পৌছিতে দিয়া উহা আবার ওজন কর ; ইহা হইতে বরফের ওজন পাইবে। নিচের মত হিসাব কর :

কাঠিসমেত ক্যালরিমিটারের খালি অবস্থায় ওজন $= m_1$ g,

কাঠিসমেত ক্যালরিমিটারের আংশিক জলভরা অবস্থায় ওজন $= m_2$ g,

গৃহীত জলের ওজন $= (m_2 - m_1) = m$ g,

গৃহীত জলের উষ্ণতা $= t_1$°C,

বরফযোগের পর জলের অবম উষ্ণতা $= t°C$,
বরফজল সমেত ক্যালরিমিটারের ওজন $= m_3$ g,
গলা বরফের ওজন $= (m_3 - m_2) = m'$ g,
ক্যালরিমিটারের জল-সম $= W$ g।
বরফের লীনতাপ L cal/g ধর। তাহা হইলে
ক্যালরিমিটারের বর্জিত তাপ $= W(t_1 - t)$;
জলের বর্জিত তাপ $= m(t_1 - t)$;
বরফ গলায় লীনতাপ গ্রহণ $= m'L$ cal ;
বরফ গলা জল 0°C হইতে t°C-তে উষ্ণ হইতে তাপ গ্রহণ $= m't$ cal।
বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ বলিয়া

$$(W+m)(t_1-t) = m'L + m't = m'(L+t)$$

$$\therefore \quad L = \{(W+m)(t_1-t)/m'\} - t. \qquad (6-2.1)$$

মন্তব্য : বেশী বরফ যোগ করিলে জল বেশী ঠাণ্ডা হওয়ায় ক্যালরিমিটারের গায় জলীয় বাষ্প জমিয়া জল হইয়া লাগিয়া থাকিবে। ইহা যাহাতে না হয় সে দিকে সতর্ক দৃষ্টি রাখিবে। সেই জন্য ছোট দু-এক টুকরা বরফ যোগ করিতে বলা হইয়াছে। ক্যালরিমিটারের গায় বাষ্প জমিলে বাষ্প তরল হইবার লীনতাপ ছাড়ে বলিয়া ক্যালরিমিটারে অবাঞ্ছিত তাপ প্রবেশ করে। ইহাতে কাজে অশুদ্ধি ঘটে।

প্রশ্ন। (1) −10°C উষ্ণতার 100 g বরফ সম্পূর্ণ গলাইয়া তরল জলকে 30°C-তে তোলা হইল। ইহাতে কত তাপ লাগিবে? (বরফের লীনতাপ = 80 cal/g; বরফের আপেক্ষিক তাপ $= 0{\cdot}5$ cal g^{-1}°C^{-1}।)

[সমাধান—100 g বরফকে −10°C হইতে 0°C-তে তুলিতে যে তাপ লাগে তাহা $= 100 \times 0{\cdot}5 \times 10 = 500$ cal। 100 g বরফ গলাইতে লীনতাপের দরকার $100 \times 80 = 8000$ cal। 100 g জল 0°C হইতে 30°C-তে তুলিতে তাপের দরকার $100 \times 30 = 3000$ cal। মোট তাপ $= 11{,}500$ cal।]

(2) 100°C উষ্ণতার 75 g জল −15°C উষ্ণতার 20 g বরফে যোগ করা হইল। যৌথ উষ্ণতা কত হইবে? (লীনতাপ ও আপেক্ষিক তাপ উপরের প্রশ্নের মত ধর।)

[সমাধান—যৌথ উষ্ণতা t°C ধর। উষ্ণ জলের বর্জিত তাপ $= 75 \times 1 \times (100 - t)$ cal। −15° হইতে 0°C-তে আসিতে বরফের গৃহীত তাপ $= 20 \times 0{\cdot}5 \times 15$ cal। বরফ গলিবার তাপ 20×80 cal। বরফগলা জল 0°C হইতে t°C-তে উষ্ণ হইবার তাপ $= 20 \times 1 \times t$ cal। অতএব $75 \times (100 - t) = 20 \times 0{\cdot}5 \times 15 + 20 \times 80 + 20t$ বা $t = 60{\cdot}52$°C।]

(3) 100°C উষ্ণতার 20 g জল −15°C উষ্ণতার 75 g বরফে যোগ করা হইল। ফল কি হইবে বল।

[টীকা—প্রশ্নটি ঠিক আগের প্রশ্নের মতই। কিন্তু ঐ ভাবে কষিলে t-র মান বরফের প্রাথমিক উষ্ণতা (−15°C)-র চেয়েও কম হইবে। ইহা সম্ভব নয়। কাজেই প্রশ্নটি অন্যভাবে বিচার করিতে হইবে।

আগের প্রশ্নে গরম জলের বর্জিত তাপে সব বরফ গলে। কিন্তু এখানে তাহা হয় না, কারণ জল যদি 0°C-তেও আসে তবু 20×100 cal-এর বেশী তাপ ছাড়িতে পারে না। অথচ 75 g বরফ গলিতে $75 \times 80 = 6000$ cal তাপ লাগে।]

−15°C হইতে 0°C উষ্ণ হইতে বরফ $75 \times 0{\cdot}5 \times 15 = 562{\cdot}5$ cal তাপ নিবে। বাকী $2000 - 562{\cdot}5 = 1437{\cdot}5$ cal তাপ যতটা পারে বরফ গলাইবে। গলা বরফের ভর $1437{\cdot}5 \div 80$

$=17{\cdot}97$ g। অতএব মোট ফল দাঁড়াইবে 0°C-তে $17{\cdot}97 \text{ g}+20 \text{ g}=37{\cdot}97$ g জল ও $75-17{\cdot}97$ $=57{\cdot}03$ g বরফ।

(4) 500°C উষ্ণতার 900 g লোহা এক চাপ বরফে ফেলায় 680 g জল পাওয়া গেল। লোহার আপেক্ষিক তাপ 0·12 হইলে বরফের লীনতাপ কত?

[সমাধান—লোহা ঠাণ্ডা হইতে $900\times0{\cdot}12\times500$ cal তাপ ছাড়িয়াছে। ইহা 680 g বরফ গলাইয়াছে। লীনতাপ L হইলে $680 \text{ g}\times L=5400$ cal বা $L=79{\cdot}4$ cal/g]

(5) ক্যালরিমিটারে 30°C উষ্ণতায় 220 g প্যারাফিন তেল আছে। উহার জল-সম 40 g। 0°C উষ্ণতার 15 g বরফ তেলে ফেলিলে যৌথ উষ্ণতা 20°C হয়। তেলের আপেক্ষিক তাপ কত?

[সমাধান—প্যারাফিন তেলের বর্জিত তাপ $=220\times s\times(30-20)=2200\,s$ cal। ক্যালরিমিটারের বর্জিত তাপ $=40\times10=400$ cal। বরফে গৃহীত লীনতাপ $=15\times80$ cal। বরফগলা জলে গৃহীত তাপ 15×20 cal। $s=0{\cdot}5$]

6-3. গলনে আয়তন পরিবর্তন। অধিকাংশ পদার্থ গলিলে আয়তনে বাড়ে। কিন্তু বরফ, ঢালাই লোহা, ছাপার হরফ ঢালাই করার সংকর ধাতু (type metal) প্রভৃতি অল্প কয়েকটি পদার্থ গলিলে আয়তনে কমে। ঢালাইয়ের ধাতু-দুইটির এই গুণ থাকায় ঢালাইয়ের কাজে উহারা প্রশস্ত, কারণ তরল ধাতু ছাঁচে ফেলিলে কঠিন হইবার সময় উহা আয়তনে বাড়ে এবং ছাঁচ সম্পূর্ণ ভরিয়া রাখে। কঠিনের আয়তন কম হইলে ছাঁচে ফাঁক থাকিয়া যাইত। জলের চেয়ে বরফ ভারী হইলে জলচর প্রাণীর কি অবস্থা হইত তাহা 3-3.1 বিভাগে বলা হইয়াছে।

এক গ্রাম বরফ গলিলে আয়তনে 0·0907 cm³ কমে; ইহা বরফের নিজ আয়তনের প্রায় $\frac{1}{12}$ অংশ।

6-4. গলনাংকের উপর চাপের প্রভাব। গলনাংকের উপর চাপের প্রভাব থাকিলেও উহা খুব বেশী নয়। অধিকাংশ তরলই ঠাণ্ডা হইলে আয়তনে কমে, এবং জমিয়া কঠিন হইবার সময় উহাদের আয়তন আরও কমে। এই সকল তরলের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধি শিলনে (freezing-এ) সহায়তা করে। অতএব বেশী চাপে এই সব তরল আরও সহজে, অর্থাৎ প্রমাণ গলনাংকে পৌছিবার আগেই, জমিবে।

জলের মত যে সব তরল শিলনে আয়তনে বাড়ে, চাপ বৃদ্ধি উহাদের শিলনে বাধার সৃষ্টি করে বলিয়া এই সব তরল প্রমাণ হিমাংকে না জমিয়া আরও কম উষ্ণতায় জমে। বরফের উপর চাপ বাড়াইয়া 134 বায়ুমণ্ডল করিলে উহার গলনাংক -1°C হয়।

গলন বা শিলনের উপর, সামান্য হইলেও, চাপের এই ক্রিয়া মনে রাখিয়া **গলন সম্বন্ধীয় সূত্র** নিচের মত লেখা যায়ঃ

(1) নির্দিষ্ট চাপে বিশুদ্ধ কেলাসিত পদার্থ নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গলে এবং এই উষ্ণতায় ও চাপে পদার্থ কঠিন এবং তরল উভয় অবস্থায় একই সঙ্গে থাকিতে পারে। গলিবার বা জমিবার সময় পদার্থের উষ্ণতা স্থির থাকে।

(2) প্রতি গ্রাম পদার্থ কঠিন অবস্থা হইতে তরলে পরিণত হইতে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ নেয়; ইহাকে গলনের লীনতাপ বলে। জমিতে (শিলনে) ঠিক একই পরিমাণ তাপ মুক্ত হয়।

6-4.1. রিজেলেশন (Regelation) বা পুনর্হিমন বা পুনঃশিলন*। শিলাবৃষ্টিতে শিল কুড়াইয়া উহাদের কয়েক খানাকে চাপিয়া একখণ্ডে পরিণত করার অভিজ্ঞতা অনেকেরই আছে। চাপে বরফের গলনাংক কমে, এই ঘটনা তাহার একটি সহজলভ্য উদাহরণ। দুখণ্ড বরফ একত্রে চাপিলে উহাদের স্পর্শস্থানগুলিতে প্রচুর চাপ পড়ে। অতএব এই স্থানগুলিতে গলনাংক 0°C-র নিচে চলিয়া যায়। কিন্তু ঐ সকল স্থানে উষ্ণতা 0°C থাকায় ঐ স্থানের বরফ গলনাংকের উপরে আছে বলিয়া গলিয়া জল হয়। লীনতাপ আশপাশের বরফ হইতেই আসে, এবং জল ও বরফ আরও ঠাণ্ডা হয়। চাপ ছাড়িয়া দিলে গলনাংক বাড়িয়া 0°C-তে আসে। কিন্তু ঐ স্থানের জলের উষ্ণতা 0°C-র নিচে থাকায় উহা আবার জমিয়া কঠিন হইয়া বরফ দুখণ্ডকে জোড়া দেয়। জলের ত্যক্ত লীনতাপে আশপাশের বরফের উষ্ণতা আবার 0°C হয়। চাপে বরফ গলিয়া চাপমোচনে আবার জমিয়া কঠিন হওয়াকে **রিজেলেশন** (পুনর্হিমন বা পুনঃশিলন) বলে। তুষার চাপিয়া গোলক বানান একই প্রকার ঘটনা। বরফের উপর স্কেটিং' (Skating) আর একটি উদাহরণ।

অনুশীলনী

1. লীনতাপ কাহাকে বলে ? উহার ক্রিয়া কি ? 'বরফের লীনতাপ 80' কথাটির অর্থ কি ? 80 সংখ্যাটির সঙ্গে কি একক থাকা উচিত ?

বরফের লীনতাপ মাপিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

2. গলনাংকের উপর চাপের প্রভাব কিরূপ ? রিজেলেশন কাহাকে বলে ? ইহার সহজ একটি উদাহরণ দাও ও ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।

3. 0°C-তে 15 g ওজনের এক টুকরা বরফ তামার ক্যালরিমিটারে 20°C-তে 85 g জলে ফেলা হইল। সব বরফ গলার পর উষ্ণতা হইয়া দাঁড়াইল 10°C। বরফের লীনতাপ = 80 cal/g হইলে ক্যালরিমিটারের জল-সম কত ? [উঃ 50 g]

4. 3 kg তামা 72°C পর্যন্ত উষ্ণ করিয়া এক চাপ বরফের উপর রাখিলে কতটা বরফ গলিবে ? তামার আপেক্ষিক তাপ 0·1 এবং বরফের লীনতাপ 80 cal/g। [উঃ 270 g]

5. −15°C উষ্ণতার 40 g বরফ (আপেক্ষিক তাপ 0·5) 90°C উষ্ণতার 150 g জলের সঙ্গে মিশান হইলে উষ্ণতা কত হইবে ? [উঃ 45·25°C]

6. 90°C উষ্ণতার 250 g তামা 100 g ওজনের তামার ক্যালরিমিটারে ফেলা হইল। ক্যালরিমিটারে 10 g বরফ ও 25 g জল 0°C-তে আছে। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·1 এবং বরফের লীনতাপ 80 cal/g হইলে যৌথ উষ্ণতা কত হইবে ? [উঃ 20·7°C]

7. ক্যালরিমিটারে 0°C-তে জল রাখা আছে। 100 g ওজনের একখণ্ড পিতল তরলবায়ুতে −190°C পর্যন্ত ঠাণ্ডা করিয়া ঐ জলে ফেলা হইল। কতটা জল জমিবে ? ক্যালরিমিটারের বর্জিত তাপ উপেক্ষা কর। পিতলের আপেক্ষিক তাপ 0·08 এবং বরফের লীনতাপ 80 cal/g ধর। [উঃ 19 g]

8. 10 g জল-সমের একটি ক্যালরিমিটারে 30°C-তে 50 g জলে 0°C উষ্ণতার খানিকটা বরফ ফেলায় যৌথ উষ্ণতা 10°C হইল। কতটা বরফ যোগ করা হইয়াছিল ? বরফের লীনতাপ 80 cal/g। [উঃ 13·33 g]

9. 10 g ওজনের একখণ্ড পিতল 250°C-তে উষ্ণ করিয়া একচাপ বরফের গর্তে ফেলা হইলে 2·7 g বরফ গলে। বরফের লীনতাপ 80 cal/g হইলে পিতলের আপেক্ষিক তাপ কত ? [উঃ 0·09 cal g^{-1}°C^{-1}]

---

* Re (পুনরায়) + gelation (কঠিন হওয়া)। হিমন বা শিলন (শিলা = পাথর) আমরা কঠিনে পরিণত হওয়া অর্থে ব্যবহার করিতে পারি।

10. একটি পাত্রে 30°C উষ্ণতার 250 g জল রেফ্রিজারেটরে রাখা হইল। রেফ্রিজারেটর জল হইতে মিনিটে 275 cal তাপ বাহির করিয়া নিতে পারে। সব জল জমিয়া 0°C-তে বরফ হইতে কত সময় লাগিবে? বরফের লীনতাপ 80 cal/g।

11. 0°C উষ্ণতার 100 g বরফ 30°C উষ্ণতার 200 g জলে ফেলা হইল। যৌথ উষ্ণতা কত হইবে? [উঃ 0°C। সংকেত—6-2 বিভাগের 3 নং প্রশ্ন দেখ]

12. ধর বরফের লীনতাপ হঠাৎ অর্ধেক হইয়া গেল। ইহাতে হিমালয় পর্বতের উপরের বরফ স্তূপে কি পরিবর্তন হইবে, এবং তাহার ফলে গাঙ্গেয় সমতল ভূমিতে কি ঘটিতে পারে, তাহা দশ লাইন লেখায় প্রকাশ কর।

13. 'গন্ধকের গলনাংক 113°C, লীনতাপ 9 cal/g ও কঠিন গন্ধকের আপেক্ষিক তাপ 0·17 cal/g °C'। এই কথাগুলির অর্থ বুঝাইয়া বল।

35 g তরল গন্ধক উহার হিমাংকে 40 g ওজনের একটি তামার ক্যালরিমিটারে 14°C উষ্ণতার 100 g জলে ফেলা হইল। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·1 cal/g °C হইলে জলের উষ্ণতা কত °C বাড়িবে? [উঃ 8·2°C]

14. লীনতাপ কাহাকে বলে এবং কেন বলে? বরফের লীনতাপ কিভাবে মাপিবে? কোন পাত্রে 1 লিটার জল 26°C উষ্ণতায় আছে। উহাকে 10°C-তে আনিতে 20 g ওজনের কত খণ্ড বরফ যোগ করিতে হইবে? [উঃ 10]

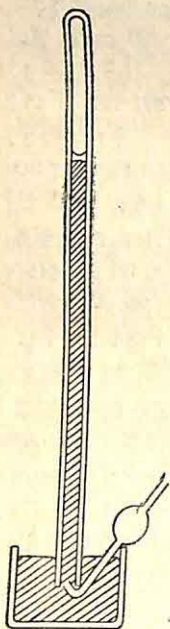
15. গলনের সূত্রগুলি কি কি? প্রমাণ (Normal) গলনাংক কাহাকে বলে? বিভিন্ন পদার্থের গলনের উপর চাপের ক্রিয়া কি রকম?

দুইখণ্ড বরফ কয়েক সেকেণ্ড একত্রে চাপিয়া রাখিয়া চাপ সরাইয়া নিলে উহারা জোড়া লাগে কেন?

6-5. বাষ্পন ও বাষ্পচাপ (Vaporization and vapour pressure)। তরল পদার্থে তাপ দিলে উহা বাষ্পে পরিণত হয়; ইহাকে 'বাষ্পন' (Vaporization) বলে। আসলে বাষ্পন দুই ভাবে ঘটিতে পারে—(১) 'উবন' (Evaporation)-এ ও (২) 'স্ফুটন' (Boiling)-এ। বাষ্পীয় অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় পরিণত হওয়াকে 'তরলন' (Condensation বা Liquefaction) বলে। উবন ও স্ফুটন আলোচনা করার আগে বাষ্প যে গ্যাসের মত চাপ দেয় তাহা বুঝিয়া নেওয়া ভাল।

চিত্র 6·1

একটি ব্যারোমিটার নল নিয়া উহা পারায় ভরিয়া উহার খোলামুখ একটি পারাপাত্রের উপর উবুড় কর (6·1 চিত্র)। একটি বাঁকান পিপেট (Pippete)-এর সাহায্যে নলে কয়েক ফোঁটা জল, অ্যালকোহল বা ইথার ঢুকাও। প্রথম কয়েক ফোঁটা তরল পারার ভিতর দিয়া উপরে উঠিয়া উপরের শূন্যস্থানে (টরিচেল্লীয় শূন্যস্থানে) পৌঁছিয়া সম্পূর্ণ রূপে বাষ্পে পরিণত হইবে এবং দেখা যাইবে পারাস্তম্ভ একটু নামিয়া আসিয়াছে। ইহাতে বোঝা যায় বাষ্পীভূত তরল গ্যাসের মত চাপ দেয়।

পারার উপরে তরলের পরিমাণ ক্রমশ বাড়িতে থাকিলে খানিকটা তরল বাষ্পীভূত হইয়া আর হয় না, এবং পারার মাথায় তরল জমিয়া থাকে। বাষ্পিত তরলের পরিমাণ যতক্ষণ বাড়ে ততক্ষণ পারার মাথা নামে; পরে আর নামে না। ইহাতে

বোঝা যায় তরলের বাষ্পের চাপ দিবার একটা সীমা আছে। টরিচেল্লীয় শূন্য স্থানের উষ্ণতা বাড়াইলে পারার মাথা আরও নামে, অর্থাৎ বাষ্প আরও বেশী চাপ দেয়। তা ছাড়া, বিভিন্ন তরলে একই উষ্ণতায় উহার বাষ্প চাপ বিভিন্ন হয়।

উপরের সহজ পরীক্ষাটি হইতে দেখা যায় (১) বাষ্প গ্যাসের মত চাপ দেয়, (২) পরিমিত স্থানে কতটা বাষ্প থাকিতে পারিবে তাহার একটা সীমা আছে, (৩) বাষ্পচাপের এই সীমা উষ্ণতার সঙ্গে বাড়ে এবং (৪) একই উষ্ণতায় বিভিন্ন তরলের চরম বাষ্প চাপ বিভিন্ন।

6-5.1. বাষ্পচাপ (Vapour pressure)। বদ্ধপাত্রে কোন তরল থাকিলে তরলের যে অণুগুলি তাপীয় গতির (Thermal motion-এর) জন্য তরলের আকর্ষণ ছাড়িয়া বাহির হইয়া পড়ে, তাহারা তরলের বাহিরের স্থানটুকুতে ছুটাছুটি করে এবং বদ্ধ পাত্রের দেওয়ালে ও তরলের পৃষ্ঠে ধাক্কা খায়। তা ছাড়া অণুগুলি গ্যাস অণুর মত পরস্পরের সঙ্গেও ধাক্কা খায়। দেওয়ালে ধাক্কা খাওয়ার ফলে উহারা দেওয়ালে চাপ দেয়। তরল পৃষ্ঠে ধাক্কা খাওয়ার ফলে তরল পৃষ্ঠেও চাপ পড়ে। দেওয়ালে ও তরল পৃষ্ঠে এই সচল অণুগুলির জন্য সমান চাপ পড়ে।

তরল পৃষ্ঠে যে অণুগুলি পড়ে তাহারা তরলের আকর্ষণে বাঁধা পড়িতে পারে। নূতন অণু তরল পৃষ্ঠ হইতে বাহির হয়। যখন বাঁধা-পড়া ও নির্গত অণুর সংখ্যা সমান হয় তখন তরল পৃষ্ঠে বা দেওয়ালে চাপ আর বাড়ে না। এই চাপকে তরলের (ক) সাম্য অবস্থার বাষ্প চাপ (Equilibrium vapour pressure), (খ) চরম বাষ্পচাপ (Maximum vapour pressure), (গ) সংপৃক্ত বাষ্প চাপ (Saturated vapour pressure ; সংক্ষেপে S. V. P.) বা আরও সংক্ষেপে মাত্র (ঘ) বাষ্প চাপ (Vapour pressure) বলে। আমরা 'সংপৃক্ত বাষ্পচাপ' কথাটিই সাধারণত ব্যবহার করিব এবং দরকার হইলে সংক্ষেপে ইংরেজীর অনুকরণে উহার বদলে সং. বা. চা. লিখিব।

নির্দিষ্ট তরলে সংপৃক্ত বাষ্প চাপ কেবল উহার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন তরলে একই উষ্ণতায় সং. বা. চা. বিভিন্ন হয়। উষ্ণতা বাড়িলে বাষ্পচাপ বাড়ে এবং উহার মান তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। স্বভাবী স্ফুটনাংকে (Normal boiling point-এ) সকল তরলের বাষ্পচাপ সমান ; উহার মান এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডল (one standard atmosphere)।

6-6. উবন (Evaporation)। তরলপৃষ্ঠ হইতে যে কোন উষ্ণতায় তরলের বাষ্পীয় অবস্থায় পরিণত হওয়াকে 'উবন' (evaporation) বলে। উবন সংক্রান্ত প্রধান ঘটনাগুলি নিচে বলা হইল। উহাদের অধিকাংশই আমাদের দৈনন্দিন অভিজ্ঞতার মধ্যে।

(১) উবন সকল উষ্ণতায় এবং সকল চাপেই ঘটে।

(২) উবনের হার উষ্ণতা বাড়িলে বাড়ে।

(৩) তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়িলেও উবনের হার বাড়ে।

(৪) উবনের হার উহার উপরস্থ চাপের উপর নির্ভর করে। চাপ কম থাকিলে, উবনের হার বেশী হয়। শূন্য স্থানে উবন সবচেয়ে দ্রুত হয়।

(৫) তরলের উপরস্থ স্থানে ঐ তরলের বাষ্পচাপের উপর উবনের হার নির্ভর করে। এই চাপ বেশী হইলে উবন আস্তে হয়। বর্ষার দিনে ভিজা কাপড় দেরীতে শুকাইবার ইহাই কারণ; বর্ষার দিনে বায়ুতে জলীয় বাষ্প বেশী থাকে।

(৬) বায়ুপ্রবাহ থাকিলে উবন দ্রুত হয়, কারণ বায়ু তরলের বাষ্প সরাইয়া নিয়া বাষ্পের চাপ কমায়।

(৭) দুইটি তরলের মধ্যে যেটির স্ফুটনাংক কম, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাহার বাষ্পচাপ বেশী। ইথার (Ether), ইথানল (Ethanol বা Ethyl alcohol) ও জলের স্বভাবী স্ফুটনাংক যথাক্রমে 35°, 78° ও 100°C। একই উষ্ণতায় ইথারের উবন ইথানলের চেয়ে দ্রুত, এবং ইথানলের উবন জলের চেয়ে দ্রুত।

(৮) উবনে তাপের প্রয়োজন। বাহির হইতে তাপ না পাইলে উবনের তাপ (Latent heat of evaporation) তরল নিজেই জোগায় এবং ফলে উহা ঠাণ্ডা হয় (6-6.1 বিভাগ দেখ)।

যে কোন উষ্ণতায় যে কোন তরলের বাষ্পে পরিণত হইবার খানিকটা প্রবণতা আছে। ঐ উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পচাপই এই প্রবণতার মান। **বাষ্পচাপ উষ্ণতার সঙ্গে বাড়িয়া তরলের উপরস্থ চাপের সমান হইলে তরলের স্ফুটন (boiling) হয়** (6-7 বিভাগ দেখ)।

তরল অণুর গড় গতিশক্তি উহার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে এবং উষ্ণতা কমিলে কমে। উবনে বেশী গতিশক্তির কিছু অণু তরলের আকর্ষণ ছাড়াইয়া বাষ্পীয় অণুতে পরিণত হয়। বেশী গতিশক্তির অণু হারাইলে তরলের অণুর গড় গতিশক্তি কমে। ফলে উহার উষ্ণতা কমে ও উহা শীতল হয়।

আশপাশ হইতে তাপ আসিয়া তরলের উষ্ণতা ঠিক রাখিতে পারে। দ্রুত উবনে এবং আশপাশ হইতে যথেষ্ট তাপ না পাইলে তরল অনেক শীতল হইতে পারে।

6-6.1. উবনে শীতল হওয়া (Cold produced by evaporation)। লীনতাপ না পাইলে তরল বাষ্প হইতে পারে না। উবনের সময় তরল আশপাশ হইতে তাপ নেয়, এবং তাহা না পাইলে নিজেই শীতল হইয়া বাষ্পনের লীনতাপ জোগায়। দৈনন্দিন জীবনে অনেক ব্যাপারে আমরা ইহার পরিচয় পাই।

(১) গায়ে স্পিরিট ঢালিলে দেহ হইতে লীনতাপ নিয়া স্পিরিট উবিয়া যায় এবং যেখানে স্পিরিট ঢালা হইয়াছে সেখানে ঠাণ্ডা বোধ হয়।

(২) স্নানের পর ভিজা গায় হাওয়ায় দাঁড়াইলে বা ঘামিবার পর সেই অবস্থায় বৈদ্যুত পাখার নিচে দাঁড়াইলে, দেহ হইতে লীনতাপ নিয়া গায়ের জল উবিয়া যায়, এবং শরীর ঠাণ্ডা হয়।

(গরমের দেশে একজন পূর্ণবয়স্ক লোকের দেহ হইতে সারাদিনে এক লিটার বা তারও বেশী ঘাম বাহির হয়। ইহার অধিকাংশই দেহ হইতে লীনতাপ নিয়া উবিয়া

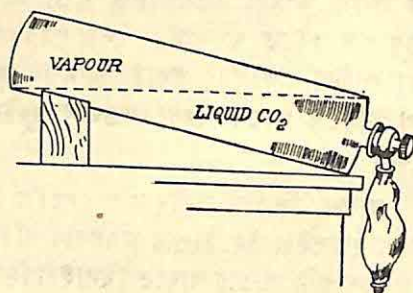
যায়। দেহের উষ্ণতায় এক লিটার ঘামের লীনতাপ প্রায় 580,000 ক্যালরি। দেহ হইতে অতিরিক্ত তাপ বাহির করিয়া দিবার ইহা প্রধান উপায়।)

(৩) কুঁজা বা মাটির কলসীর গায় অসংখ্য ছোট ছোট ছেঁদা আছে। ভিতরে জল থাকিলে এই ছেঁদাগুলি দিয়া জল বাহিরে আসিয়া বাষ্প হইয়া বাতাসে উবিয়া যায়। প্রয়োজনীয় লীনতাপ প্রধানত কলসী বা কুঁজা হইতেই আসে এবং ফলে ভিতরের জল ঠাণ্ডা হয়।

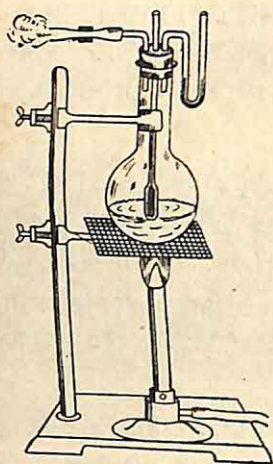
(৪) দাঁত তুলিতে ডাক্তার অনেক সময় মাঢ়ীতে (gum-এ) ইথাইল ক্লোরাইডের স্বক্ষ্মকণার ধারা (spray) ছিটাইয়া দেন। উহা অতি দ্রুত উবিয়া ঠাণ্ডায় মাঢ়ী প্রায় জমাইয়া অসাড় করিয়া দেয়। ইহাতে দাঁত তুলিবার সময় বিশেষ ব্যথা লাগে না।

(৫) গার্হস্থ্য রেফ্রিজারেটর (Refrigerator ; শীতলক) যন্ত্রে সাধারণত তরল ফ্রিয়ন (Freon) গ্যাস তরলিত অবস্থা হইতে দ্রুত উবাইয়া যন্ত্রের ভিতরটা ঠাণ্ডা করা হয়।

6-6.2. উবনে তরল পদার্থের কঠিন অবস্থায় পরিণত হওয়া।

(১) পাতলা একখণ্ড কাঠের উপর একটু জল ফেলিয়া তাহার উপর টিন বা অ্যালুমিনিয়ামের পাতলা একটি পাত্রে কিছু ইথার (ether) রাখ। একটি কাচের নলের মুখ ইথারে ডুবাইয়া নলের মধ্য দিয়া দ্রুত বায়ু চালনা করিলে ইথার খুব তাড়াতাড়ি বাষ্পে পরিণত হইবে। প্রয়োজনীয় লীনতাপের বেশীর ভাগ পাত্র ও তাহার নিচের জল হইতে আসিবে। ইহাতে জল জমিয়া বরফ হইয়া পাত্রটি কাঠের সঙ্গে আটকাইয়া রাখিতে পারে। তখন পাত্র তুলিলে সঙ্গে সঙ্গে কাঠখণ্ডও উঠিয়া আসিবে।

চিত্র 6·2

(২) কঠিন অবস্থায় পরিণত কার্বন ডাইঅক্সাইডকে **শুকনা বরফ** বা **ড্রাই আইস্ (Dry ice)** বলে। তরল কার্বন ডাইঅক্সাইডের উবনে ইহা তৈয়ারি হয়। তরল কার্বন ডাইঅক্সাইড প্রায় 5—6 বায়ুমণ্ডল চাপে লোহার সিলিণ্ডারে (cylinder-এ) থাকে (6·2 চিত্র)। সিলিণ্ডারের মুখে একটি ভ্যাল্‌ভ্ (valve) ও নল থাকে। নলে স্থতীর ব্যাগ বাঁধা থাকে। ভ্যাল্‌ভ্ খুলিয়া দিলে তরল কার্বন ডাইঅক্সাইড নল দিয়া বেগে বাহির হয়। এই তরল দ্রুত উবনে ঠাণ্ডা হইয়া অংশত কঠিন অবস্থায় পরিণত হয়। কঠিন কার্বন ডাইঅক্সাইড ব্যাগের ভিতরে থাকিয়া যায় ও উহা হইতে সংগৃহীত হয়। ড্রাই আইসের উষ্ণতা −78°C। নানা জিনিস ঠাণ্ডা করার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। আইসক্রীম (Ice cream) যাহাতে গলিয়া না যায় সে জন্য ড্রাই আইসের ব্যবহার আছে।

6-7. স্ফুটন (Boiling) বা ফুটন। রবারের ছিপি লাগান কাচের ফ্লাস্কে খানিকটা জল নাও। ছিপির ভিতর দিয়া একটি থার্মমিটার, একটি খোলা মুখ চাপমান (open tube manometer) এবং একটি নির্গম নল (delivery tube) যাইবে। নির্গম নলের সঙ্গে লাগান রবারের নলে একটি পিঞ্চ-কক (Pinch cock; রবারের নলের ছেঁদা চাপিয়া ছোট রাখার ব্যবস্থা) আঁটা থাকিবে (6·3 চিত্র)।

চিত্র 6·3

বুনসেন শিখায় ফ্লাস্কটি আস্তে আস্তে গরম কর। উষ্ণতা বাড়িতে থাকিলে দেখিবে জলের উপর হইতে জলীয় বাষ্প ক্রমশ বেশী পরিমাণে বাহির হইয়া কুয়াশার মত জলকণায় পরিণত হইতেছে। (ইহা স্ফুটন নহে; ইহা উবন।) তা ছাড়া জলে দ্রাবিত বায়ুকণা প্রথমে বুদ্বুদের আকারে ফ্লাস্কের দেওয়ালের গায় জমিয়া ক্রমে জল ছাড়িয়া বাহির হইয়া যাইতে থাকিবে। জলের উষ্ণতা প্রায় 70° – 80°C হইলে জলীয় বাষ্পের ছোট ছোট বুদ্বুদ ফ্লাস্কের নিচের দিকে গঠিত হইয়া উপরের দিকে উঠিয়া উপরের অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা জলে মিশাইয়া যাইবে। এই সময়ে জলে চুর-চুর শব্দ হইতে থাকিবে। শেষ পর্যন্ত জলীয় বুদ্বুদগুলি জলের একেবারে উপরে উঠিয়া ফাটিয়া যাইবে। ইহাই স্ফুটন। **স্ফুটনের সময় জলের সর্বাঙ্গ হইতে বাষ্প উঠিতে থাকে, এবং যতক্ষণ স্ফুটন চলে ততক্ষণ তরলের উষ্ণতা স্থির থাকে।**

ফ্লাস্কের ভিতরে জলীয় বাষ্প দেখা যায় না; উহা বায়ুর মত অদৃশ্য। নির্গম নল দিয়া বাহির হইয়া উহা ঠাণ্ডায় জলকণায় পরিণত হয় এবং সাদা কুয়াশার মত দেখায়। এই জলকণাগুলি অচিরে বায়ুতে মিলাইয়া গিয়া আবার অদৃশ্য হয়।

স্ফুটনের সময় চাপমানে দেখা যায় চাপ স্থির আছে। উহার উভয় নলে পারার (বা অন্য যে তরলই চাপমানে থাকুক না কেন) মাথা একই অনুভূমিক তলে থাকে। ইহাতে বোঝা যায় স্ফুটনের সময় তরলের ভিতরে বাষ্পচাপ তরলের বাহিরে বায়ুর চাপের সমান। (জল যথেষ্ট সময় ধরিয়া ফুটিতে থাকিলে জলীয় বাষ্প ফ্লাস্কের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া দেয়। অতএব এই অবস্থায় তরলের উপরে চাপ কেবল উহার বাষ্পচাপ।) ইহা হইতে বোঝা যায় **তরলের সঙ্গে বায়ুমণ্ডলের অবাধ সংযোগ থাকিলে যে উষ্ণতায় তরলের বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়, সেই উষ্ণতায় তরল ফুটিতে থাকে।**

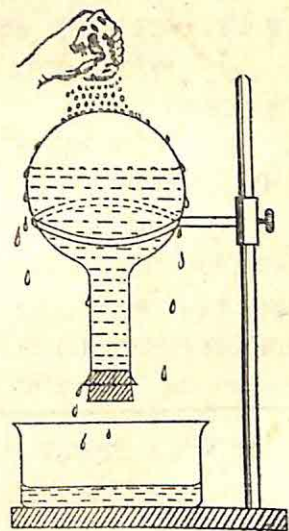
যে উষ্ণতায় এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডল চাপে (76 cm পারার চাপে) কোন তরল ফোটে তাহাকে উহার **স্বভাবী স্ফুটনাংক (Normal boiling point)** বলে। জলের স্বভাবী স্ফুটনাংক 100°C।

বিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাংক দেখিতে থার্মমিটারের বাল্‌ব্‌ তরলে না ডুবাইয়া তরলপৃষ্ঠের একটু উপরে উহার বাষ্পে রাখা উচিত। বিশুদ্ধ তরল স্ফুটনাংকে পৌঁছিয়া না ফুটিয়া আরও একটু উষ্ণ হইতে পারে।

6-8. স্ফুটনাংকের উপর চাপের প্রভাব।

(১) তরলের উপর চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাংক বাড়ে। ইহা দেখাইতে 6·3 চিত্রে বর্ণিত ব্যবস্থা ব্যবহার করা যায়। জল দ্রুত ফুটিতে থাকিলে পিঞ্চককের সাহায্যে নির্গম নলের ছেঁদা খানিকটা কমাইয়া দিলে যে হারে জল হইতে বাষ্প ওঠে সে হারে উহা বাহির হইয়া যাইতে পারে না। ফলে ভিতরে বাষ্পচাপ বাড়ে। চাপমানের দুই বাহুর পারার মাথা তখন আর একই সমতলে থাকে না, ফ্লাস্কের ভিতরে চাপ বেশী বোঝা যায়। থার্মমিটারে দেখা যায় এরূপ অবস্থায় স্ফুটনাংক আগের চেয়ে বেশী। ইহা হইতে বোঝা যায় তরলের উপর চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাংকও বাড়ে। আরও নানা রকম ভাবে এ জাতীয় পরীক্ষা করা যাইতে পারে। সেগুলিতে যান্ত্রিক জটিলতা কিছু বেশী।

(২) তরলের উপর চাপ কমাইলে স্ফুটনাংক কমে : ফ্র্যাঙ্কলিনের পরীক্ষা (Franklin's experiment)। শক্ত কাচের (Hard glass) একটি ফ্লাস্কে প্রায় অর্ধেক জল ভরিয়া জল দ্রুত ফুটাও। কিছুক্ষণ ফুটাইলে জলীয় বাষ্প ফ্লাস্কের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া দিবে। এরূপ অবস্থা হইলে ফ্লাস্ক শিখা বা উনানের উপর হইতে সরাইয়া তাড়াতাড়ি উহার মুখে একটি রবারের ছিপি লাগাইয়া ফ্লাস্কের মুখ ভাল করিয়া বন্ধ কর। দেখিবে স্ফুটন থামিয়া গিয়াছে। এবার ফ্লাস্কটি উল্টাইয়া উহা একটি স্ট্যাণ্ডে বসাও (6·4 চিত্র) এবং তুলা বা স্পঞ্জের সাহায্যে ফ্লাস্কের উপর খানিকটা ঠাণ্ডা জল ছিটাও। দেখিবে সঙ্গে সঙ্গে ফ্লাস্কের ভিতরের জল আবার ফুটিতে আরম্ভ করিয়াছে। এরূপ ফোটা অল্পক্ষণেই বন্ধ হইয়া যায়। এ রকম করিয়া কয়েকবার ফ্লাস্কের জল ফুটান যাইতে পারে।

চিত্র 6·4

ঠাণ্ডা জল লাগানয় ফ্লাস্কের জল ফুটিবে কেন? ফ্লাস্কে ঠাণ্ডা জল লাগিলে উহার দেওয়াল কিছু ঠাণ্ডা হওয়ায় দেওয়ালের সংস্পর্শে অবস্থিত ফ্লাস্কের ভিতরের জলীয় বাষ্প খানিকটা জমিয়া জলকণায় পরিণত হয়। ইহাতে ফ্লাস্কের ভিতরে বাষ্পচাপ কমে। ফ্লাস্কের জল তখন যে উষ্ণতায় আছে সে উষ্ণতায় উহার সংপৃক্ত বাষ্পচাপের চেয়ে উপরের বাষ্পচাপ কম হইলে ফ্লাস্কের জল ফুটিয়া ওঠে। তরলের উপরে চাপ সংপৃক্ত বাষ্পচাপের সমান হইলে ফোটা বন্ধ হয়, কারণ তখন জল প্রয়োজনীয় লীনতাপ পায় না। দ্বিতীয় বার ঠাণ্ডা জলের সাহায্যে চাপ আবার কমাইলে জল দ্বিতীয় বার

ফুটিয়া উঠিতে পারে। ফ্লাস্কের ভিতরে বেশী বায়ু থাকিয়া গেলে পরীক্ষাটি তেমন সুষ্ঠু ভাবে দেখান যায় না।

ফ্রাঙ্কলিনের এই পরীক্ষা হইতে দেখা যায় স্বভাবী স্ফুটনাংকের চেয়ে কম উষ্ণতায় তরল ফুটান সম্ভব। ইহার জন্য তরলের উপর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে কম করিতে হইবে।

6-9. স্ফুটনের বৈশিষ্ট্য এবং স্ফুটনের উপর অন্যান্য বিষয়ের প্রভাব।

(১) যে কোন বিশুদ্ধ তরল নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফোটে। এক প্রমাণ বায়ুমণ্ডল চাপে স্ফুটনাংককে **স্বভাবী বা প্রমাণ স্ফুটনাংক (Normal boiling point)** বলে।

(২) নির্দিষ্ট চাপে কোন বিশুদ্ধ তরল কত উষ্ণতায় ফুটিবে তাহা তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(৩) যে উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পচাপ তরলের উপরস্থ চাপের সমান হয় সেই উষ্ণতায় তরল ফোটে। অতএব চাপ বাড়িলে স্ফুটনাংক বাড়ে, এবং চাপ কমিলে স্ফুটনাংক কমে।

(৪) নির্দিষ্ট চাপে দ্রবণের স্ফুটনাংক বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাংকের চেয়ে বেশী। কিন্তু উভয় ক্ষেত্রে বাষ্পের উষ্ণতা একই।

(৫) স্ফুটনে তাপের দরকার, এবং স্ফুটনের হার তাপ সরবরাহের হারের আনুপাতিক।

(৬) স্ফুটনে আয়তন অনেক বাড়ে। 1 cm^3 জল 100°C-তে ফুটিলে প্রায় 1650 cm^3 জলীয় বাষ্প হয়।

(৭) একই চাপ পরিবর্তনে বিভিন্ন তরলের স্ফুটনাংকের পরিবর্তন আলাদা (অথবা স্ফুটনাংকের একই পরিবর্তন ঘটাইতে বিভিন্ন তরলে বিভিন্ন চাপ পরিবর্তন দরকার হয়। জলের ক্ষেত্রে স্বভাবী স্ফুটনাংক 1 C° বদলাইতে প্রায় 27 mm পারা চাপপরিবর্তন দরকার।)

সারণি। °C-তে কয়েকটি তরলের স্বভাবী স্ফুটনাংক

পদার্থ	স্ফুটনাংক	পদার্থ	স্ফুটনাংক	পদার্থ	স্ফুটনাংক
সালফার	444°	জল	100°	অ্যামোনিয়া	−34°
মারকারি	357°	ইথানল	78°	অক্সিজেন	−183°
প্যারাফিন	350°-530°	ক্লোরোফর্ম	61°	হাইড্রোজেন	−253°
গ্লিসারিন	290°	ইথার	35°	হিলিয়াম	−269°

উবন ও স্ফুটনে প্রভেদ। উবন ও স্ফুটন প্রক্রিয়া দুইটির প্রধান প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করিলে বলা যায় উহাদের মধ্যে মৌলিক প্রভেদ হইল

(১) নির্দিষ্ট চাপে ও নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্ফুটন ঘটে ; কিন্তু উবন সকল চাপে ও উষ্ণতায় ঘটে।

(২) স্ফুটনে তরলের সর্বাঙ্গ হইতে বাষ্প ওঠে; কিন্তু উবনে কেবল তরলের খোলা পিঠ হইতে বাষ্পন ঘটে।

6-10. ভূপৃষ্ঠ হইতে উর্ধ্বে তরলের স্ফুটন। সমুদ্রপৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলের চাপ সবচেয়ে বেশী। ঐ পৃষ্ঠ হইতে যত উপরে ওঠা যায় চাপ তত কমে। তরলের উপর চাপ কমিলে তরলের স্ফুটনাংকও কমে বলিয়া সমতল ভূমির তুলনায় পাহাড়ের উপর যে কোন তরলের স্ফুটনাংক কম হইবে। মঁ ব্লাঁ (Mt. Blanck) শৃঙ্গে (15, 782 ft) জল 83°C-তে ফোটে। এভারেষ্ট শৃঙ্গে (29,002 ft) জলের স্ফুটনাংক 70°C। হিসাবে দেখা যায় ভূপৃষ্ঠ হইতে 65,000 ft উপরে জল 37°C-তে ফুটিবে। ঐ উচ্চতায় আমাদের দেহ বায়ুমণ্ডলের সংস্পর্শে থাকিলে, দেহের জল ফুটিতে আরম্ভ করিবে।

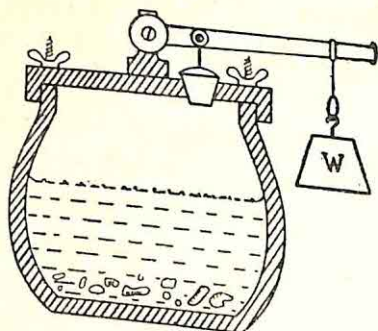
নিচের সারণিতে ভূপৃষ্ঠ হইতে বিভিন্ন উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের চাপ ও জলের মোটামুটি স্ফুটনাংক দেওয়া হইল:

উচ্চতা (মিটার)	বায়ু চাপ (মিলিমিটার পারা)	স্ফুটনাংক (°C)
0	760·0	100
1000	674·1	96·7
2000	596·1	93·3
3000	525·7	90
4000	462·2	86·6
5000	405·0	83·2

সারণি হইতে দেখা যায় প্রায় প্রতি 310 m উচ্চতা বৃদ্ধির সঙ্গে জলের স্ফুটনাংক 1 C° করিয়া কমে। কমার হার ঠিক সুষম নয়। জলের স্ফুটনাংক বাহির করিয়া পাহাড়ের উচ্চতা মোটামুটি হিসাব করা যাইতে পারে।

6-11. উচ্চ চাপে স্ফুটন। জলের উষ্ণতা 100°C-র কম হইলে উহাতে রান্না করা খুব অসুবিধার, কারণ কম উষ্ণতায় চাল, ডাল, তরকারী ইত্যাদি সহজে বা ভাল করিয়া সিদ্ধ হয় না। উষ্ণতা 100°C-র কিছু বেশী হইলে সকল জিনিস এমন কি মাংস, তাড়াতাড়ি সিদ্ধ হয়। এ জন্য বর্তমানে উচ্চ চাপে ফুটন্ত জলে রান্না করিবার পাত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে; ইহাদের 'প্রেসার কুকার' (Pressure cooker) বলে। প্রেসার কুকার তোমাদের অনেকেরই পরিচিত।

চিত্র 6·5

শিল্পেও অনেক ক্ষেত্রে অনুরূপ ব্যবস্থার দরকার হয়। কাগজ তৈয়ারিতে কাগজের মণ্ড বানান ইহার একটি। শিল্পের প্রয়োজনে এ

প্রকার ব্যবস্থাকে ডাইজেস্টার (Digester) বলা হয়। প্রেসার কুকার বা ডাইজেস্টারের ক্রিয়াবিধি একই রকম। একটি বদ্ধ পাত্রে জল এবং সিদ্ধ করিবার জিনিসগুলি একসঙ্গে রাখা হয় (6·5 চিত্র)। পাত্রের ডালা বায়ু বা বাষ্পের অনধিগম্য করিয়া বানান হয়। ডালায় একটি ভাল্‌ভ্ (valve) থাকে। পাত্রে বাষ্পচাপ একটা নির্দিষ্ট সীমা ছাড়াইলে ভাল্‌ভ্ ঠেলিয়া বাষ্প বাহির হইয়া যায় ; অন্যথায় ভিতরে সব সময় সেই বেশী চাপই থাকে। এ জন্য পাত্রের জল বেশী উষ্ণতায় ফোটে। শিল্পে পাত্রের ভিতরের চরম চাপ বাড়ান কমান দরকার হইলে একটি লিভার ও ওজনের (চিত্রের W) সাহায্যে ইহা করা যায়। ভাল্‌ভে চাপ এক বায়ুমণ্ডল বাড়াইলে জল প্রায় 120°C-তে ফোটে। স্টীম ইঞ্জিনে জল প্রায় 200°C-তে ফুটান হয়। ইহার জন্য চাপ প্রায় 15 বায়ুমণ্ডলের সমান হওয়া দরকার হয়। প্রেসার কুকারের ভিতরে বাষ্পের উষ্ণতা প্রায় 110°-র মত থাকে। হাসপাতালে শল্য চিকিৎসার যন্ত্র, তুলা, ব্যাণ্ডেজ প্রভৃতি জীবাণুমুক্ত করিবার জন্য অটোক্লেভ (Autoclave) ও স্টেরিলাইজার (Sterilizer) ব্যবহার করা হয়। ইহার ভিতরে প্রায় তিন চার বায়ুমণ্ডল চাপে 135°C—140°C-তে জল ফুটাইয়া সেই বাষ্প দিয়া ভিতরটা গরম রাখা হয়।

6-12. বাষ্পনের লীনতাপ (Latent heat of vaporization)। স্থির চাপে কোন তরল যখন ফুটিতে থাকে তখন উহার উষ্ণতার কোন পরিবর্তন হয় না, ইহা পরীক্ষিত সত্য (6-7 বিভাগ)। কিন্তু ফুটাইতে হইলে বা উবনে বাষ্পে পরিণত করিতে হইলে তরলে তাপ সরবরাহ করিতে হয়। এই তাপ তরলের উষ্ণতা বাড়ায় না, উহাকে একই উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত করে মাত্র। **উষ্ণতা পরিবর্তন না ঘটাইয়া এক গ্রাম তরলকে বাষ্পে পরিণত করিতে যে তাপের দরকার হয় তাহাকে ঐ তরলের বাষ্পনের লীনতাপ (Latent heat of vaporization) বলে।** স্ফুটন বা উবন, উভয় প্রক্রিয়ায়ই লীনতাপ সরবরাহ করা দরকার। লীনতাপ cal/g (ক্যালরি/গ্রাম) বা অনুরূপ এককে প্রকাশ করা হয়।

তরলে অণুগুলির মধ্যে কিছু আকর্ষক বল ক্রিয়া করে ; কিন্তু বাষ্পীয় অবস্থায় অণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ কার্যত উপেক্ষণীয়। তরল হইতে একটি অণুকে মুক্ত করিয়া বাষ্পীয় অবস্থায় নিতে গেলে অণুর উপর তরলের আকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হইবে। ইহার জন্য শক্তি ব্যয় প্রয়োজন। কিন্তু এই শক্তি অণুর গতিশক্তি (অতএব উহার উষ্ণতা) বাড়ায় না। এই উদ্দেশ্যে যে শক্তি সরবরাহ করা দরকার হয় তাহাই লীনতাপ। শক্তির ক্ষয় নাই ; উহা সংরক্ষিত রাশি। তরলের অণুকে বাষ্পের অণুতে পরিণত করিতে যে শক্তি ব্যয় হয়, তাহা বাষ্পের অণুতে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে। বাষ্প যখন তরলে পরিণত হয় তখন এই স্থিতিশক্তি লীনতাপ রূপে মুক্ত হয়।

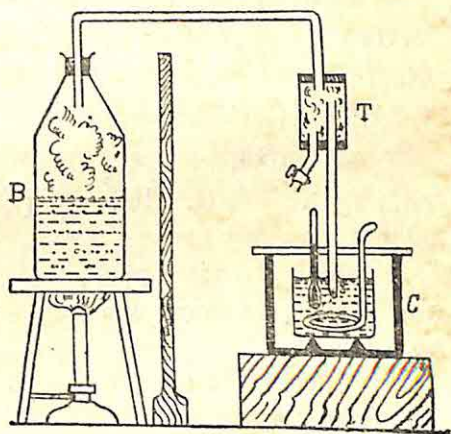
স্টীমের (steam-এর) লীনতাপ 539 cal/g বলিতে বুঝায় 100°C-তে এক গ্রাম জল ঐ উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত হইতে 539 ক্যালরি তাপ নেয়। অন্যভাবে বলা যায় এক গ্রাম স্টীম (100°C-তে জলীয় বাষ্প) উষ্ণতা পরিবর্তন না করিয়া এক গ্রাম জলে পরিণত হইতে 539 ক্যালরি তাপ মুক্ত করে। (তরলের ক্ষেত্রে লীনতাপ উষ্ণতার উপর নির্ভর করে ; কম উষ্ণতায় লীনতাপ বেশী হয়।)

এক গ্রাম জল স্ফুটনাংক (100°C) হইতে হিমাংকে (0°C) আসিতে 100 ক্যালরি তাপ দিতে পারে। কিন্তু এক গ্রাম ফুটন্ত জলের বাষ্প (স্টীম) উহার উষ্ণতা (100°C) হইতে 0°C-তে আসিতে লীনতাপ 539 cal + জলীয় অবস্থায় হিমাংকে আসিতে 100 cal = 639 ক্যালরি তাপ দিতে পারে। এই কারণে ফুটন্ত জলের ছেঁকার তুলনায় উহার বাষ্পের ছেঁকায় জ্বালা অনেক বেশী হয়। একই কারণে শীতের দেশে ঘর গরম রাখিতে নলের ভিতর দিয়া গরম জলের বদলে জলীয় বাষ্প পাঠান হয়। বাষ্প তরলে পরিণত হইতে লীনতাপ ছাড়ে, এবং গরম জল অন্য নল দিয়া কেন্দ্রীয় বয়লারে (boiler-এ ; জল ফুটাইবার পাত্রে) যায়।

6-13. স্টীমের লীনতাপ নির্ণয়। [স্টীম (Steam) বলিতে (সাধারণত এক বায়ুমণ্ডল চাপে) ফুটন্ত জলের বাষ্প বুঝায়। স্টীমের উষ্ণতা আমরা সাধারণত 100°C ধরিব। এই বাষ্প বুঝাইবার উপযুক্ত বাংলা কথা না থাকায় আমরা বাংলায় 'স্টীম' (Steam) কথাটিই ব্যবহার করিব।]

পরিষ্কার ও শুকনা একটি ক্যালরিমিটার ওজন করিয়া উহা প্রায় অর্ধেক জলে ভরিয়া আবার ওজন কর। জলের উষ্ণতা দেখ।

চিত্র 6·6

স্টীমের লীনতাপ মাপিবার যান্ত্রিক ব্যবস্থা 6·6 চিত্রে দেখান হইয়াছে। B পাত্রে জল ফুটাও। ফুটন্ত জলের বাষ্প (স্টীম) নল দিয়া একটি ফাঁদ T-তে যাইবে। T-কে স্টীমের ফাঁদ (Steam trap) বলা হয়। ফাঁদে আগম নল দিয়া স্টীম আসে এবং নির্গম নল দিয়া উহা ক্যালরিমিটারের জলে ঢোকে। পিঞ্চকক লাগান আর একটি নল ফাঁদের নিচের দিকে থাকে। ফাঁদে স্টীম জমিয়া যে জল হয় তাহা পিঞ্চকক খুলিয়া বাহির করিয়া দেওয়া যায়। বয়লার B ও ক্যালরিমিটার C-র মাঝখানে কাঠের পর্দা থাকে। ইহা থাকায় বয়লার বা উহার নিচের শিখা হইতে তাপ ক্যালরিমিটারে যাইতে পারে না।

ফাঁদের নির্গম নল ক্যালরিমিটারের জলে ডুবান। উহা দিয়া স্টীম আসিয়া অংশত জলে জমে ও অংশত বাহির হইয়া যায়। এই স্টীমের সাহায্যে ক্যালরিমিটারের জল খানিকটা গরম হইলে, নল সরাইয়া গরম জলের উষ্ণতা দেখা হয়। স্টীম জমিবার সময় জল নাড়িতে থাকিতে হয়।

নল সরাইবার পর ক্যালরিমিটার ঠাণ্ডা হইয়া ঘরের উষ্ণতায় আসিলে উহাকে আবার ওজন করা হয়। এই ওজন হইতে আগের ঠাণ্ডা জল ভরা ক্যালরিমিটারের

ওজন বাদ দিলে ক্যালরিমিটারে কতটা স্টীম জমিয়াছে তাহা জানা যায়। নিচের মত হিসাব করিয়া লীনতাপ পাওয়া যায়। ধরা যাক

শূন্য ক্যালরিমিটারের ভর	$=m$ গ্রাম
ঠাণ্ডা জলভরা ক্যালরিমিটারের ভর	$=m'$,,
ক্যালরিমিটারের জল-সম	$=W$,,
জলের আদি উষ্ণতা	$=t_1$°C
জলের চরম উষ্ণতা	$=t$°C
ক্যালরি/গ্রাম এককে স্টীমের লীনতাপ	$=L$
স্টীম জমার পর ঠাণ্ডা ক্যালরিমিটারের ভর	$=m''$ গ্রাম

এই উপাত্তগুলি (data) হইতে দেখা যায়

ক্যালরিমিটারে প্রথমে নেওয়া জলের ভর $=m'-m=M_1$ গ্রাম ;

জলের ভিতরে জমা স্টীমের ভর $=m''-m'=M_2$ গ্রাম।

হিসাব। M_2 গ্রাম স্টীম 100°C-তে জমিয়া জল হইতে যে তাপ ছাড়ে, তাহার মান $=M_2L$ ক্যালরি। M_2 গ্রাম জল 100°C হইতে t°C পর্যন্ত ঠাণ্ডা হইতে যে তাপ ছাড়ে তাহার মান $=M_2\ (100-t)$ ক্যালরি। অতএব মোট বর্জিত তাপ $=M_2\ (L+100-t)$ ক্যালরি।

ক্যালরিমিটার ও জলে গৃহীত মোট তাপ $=(W+M_1)\,(t-t_1)$ ক্যালরি।

$$\therefore\ M_2\,(L+100-t)=(W+M_1)\,(t-t_1) \qquad (6\text{-}13.1)$$

এই সমীকরণ হইতে L পাওয়া যায়।

প্রশ্ন। (1) 100°C উষ্ণতার 11·5 g স্টীম 11°C উষ্ণতার 480 g জলে জমান হইলে জলের উষ্ণতা হয় 25°C। জলপাত্রের ওজন 190 g ও উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে, লীনতাপ কত?

[সমাধান—বর্জিত তাপ $=11{\cdot}5\ L+11{\cdot}5\ (100-25)$ ক্যালরি।
গৃহীত তাপ $=480\ (25-11)+190\times0{\cdot}1\ (25-11)$ ক্যালরি
এই দুই রাশি সমান বলিয়া পাই $L=532{\cdot}5$ cal/g।]

(2) 20 g বরফ -15°C হইতে ক্রমশ উষ্ণ করিয়া 100°C-তে সম্পূর্ণরূপে বাষ্পে পরিণত করা হইল। এই বাষ্পকে 110°C পর্যন্ত উষ্ণ করা হইল। ইহাতে মোট কত ক্যালরি তাপ দরকার হইবে? দেওয়া আছে বরফের লীনতাপ = 80 cal/g, স্টীমের লীনতাপ 538 cal/g, বরফের আপেক্ষিক তাপ = 0·5, স্টীমের আপেক্ষিক তাপ = 0·48।

[সমাধান—20 g বরফ -15°C হইতে 0°C-তে আসিতে তাপ নেয় $20\times15\times0{\cdot}5$ cal। বরফ গলিতে তাপ নেয় 20×80 cal। বরফ গলা জল 0°C হইতে 100°C পর্যন্ত উষ্ণ হইতে তাপ নেয় 20×100 cal। 100°C-তে জল বাষ্পে পরিণত হইতে তাপ নেয় 20×538 cal। স্টীম 100°C হইতে 110°C পর্যন্ত উষ্ণ হইতে তাপ নেয় $20\times10\times0{\cdot}48$ cal। মোট দরকারী তাপ = 14606 cal।]

(3) 100°C উষ্ণতায় স্টীম বড় এক চাপ বরফের উপর চালিত করিয়া 0°C উষ্ণতার 100 g জল পাওয়া গেল। স্টীমের লীনতাপ 537 cal/g ও বরফের লীনতাপ 80 cal/g হইলে কতটা বরফ গলিয়াছিল?

[সমাধান—গলা বরফের পরিমাণ x গ্রাম ধরা যাক। তাহা হইলে $100-x$ গ্রাম স্টীম জমিয়া জল হইয়া 0°C-তে নামিয়াছে। স্টীমের বর্জিত তাপ $(100-x)\times537$; ও স্টীম জমা জলের বর্জিত তাপ $(100-x)\times100$। বরফের গৃহীত তাপ $x\times80$। দুই রাশি সমান বলিয়া পাই $x=88{\cdot}84$ g।]

অনুশীলনী

(তরল-বাষ্প অবস্থান্তর সংক্রান্ত)

1. বাষ্প উহার আধারে চাপ দেয় ইহা কি ভাবে দেখাইবে ? নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বাষ্প যে চরম চাপ দিতে পারে তাহা উহার উষ্ণতার উপর নির্ভর করে ইহাই বা কি ভাবে দেখাইবে ?

2. উবন ও স্ফুটন সংক্রান্ত প্রধান প্রধান তথ্যগুলি বল। দুই-এ মূল প্রভেদ কি ?

3. স্ফুটনের সময় বাষ্পচাপ তরলের উপরস্থ চাপের সমান ইহা কি ভাবে দেখাইবে ?

4. স্ফুটনাংকের উপর চাপের প্রভাব কি ? স্বভাবী স্ফুটনাংক কাহাকে বলে ?

জলের স্ফুটনাংকের উপর (ক) চাপ বৃদ্ধি, (খ) চাপ হ্রাসের ক্রিয়া দেখাইয়া দুইটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

5. বেশী চাপে ও কম চাপে স্ফুটনের কয়েকটি প্রয়োগ উল্লেখ কর।

'কোন পাহাড়ের উপরে জল 97°C-তে ফোটে' এই উক্তি হইতে তুমি মোটামুটি কি কি প্রকার স্থূল সিদ্ধান্তে আসিতে পার ? এক কিলোমিটার গভীর খনিতে জলের স্ফুটনাংক 100°C-র চেয়ে বেশী হইবে কি কম হইবে ? কেন ?

6. 'স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g' বলিলে কি বুঝায় ? এই লীনতাপ মাপিবার একটি উপায় বর্ণনা কর।

7. উবনে শৈত্যের সৃষ্টির কয়েকটি উদাহরণ দাও। ইহার দুইটি প্রয়োগের উল্লেখ কর।

বাষ্পের তরলিত হওয়াকে কি হিসাবে তাপন মনে করা চলে ?

8. 100 g জল-সমের একটি পাত্রে 500 g জল 40°C উষ্ণতায় আছে। 100°C উষ্ণতার স্টীম ঐ জলের ভিতর দিয়া পাঠাইয়া জলের উষ্ণতা 100°C-তে তুলিতে কতখানি স্টীম তরল হইবে ? স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g। [উঃ 66·7 g]

এই স্টীমের সাহায্যে পাত্রের জল ফুটান যাইবে কি না ব্যাখ্যা কর।

9. 300 g জল ও 30 g বরফের মিশ্রণে 100°C উষ্ণতার কতখানি স্টীম জমিতে দিলে জলের উষ্ণতা 30°C হইবে ? বরফের লীনতাপ 80 cal/g এবং স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g।

[উঃ 11·7 g]

10. 30°C উষ্ণতার 1 kg জল ইলেকট্রিক স্টোভে বসাইলে 10 মিনিটে উহার উষ্ণতা 100°C-তে ওঠে। জলে প্রতিমিনিটে কতটা তাপ প্রবেশ করে ? 100°C উষ্ণতার এই জল সম্পূর্ণ বাষ্পিত হইতে কত সময় নিবে ? [উঃ 7000 cal/min ; 77·1 min]

11. 25 g তরল অ্যামোনিয়ার উবনে 20°C উষ্ণতার জল হইতে 0°C উষ্ণতার 85 g বরফ পাওয়া গেল। বরফের লীনতাপ 80 cal/g হইলে অ্যামোনিয়ার উবনের লীনতাপ কত ?

[উঃ 340 cal/g]

12. 100°C উষ্ণতার 100 g স্টীম হইতে 70,000 cal তাপ বাহির করিয়া নিলে ফল কি হইবে ? (স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g ; বরফের লীনতাপ 80 cal/g)।

[উঃ 0°C উষ্ণতায় 75 g বরফ ও 25 g জল।]

13. 60 g জল-সমের একটি পাত্রে 600 g জল 30°C উষ্ণতায় আছে। একটি বুনসেন শিখা হইতে পাত্রে প্রতি সেকেণ্ডে 100 cal তাপ দেওয়া হইতেছে। কোন তাপ ক্ষয় না হইলে (ক) জল স্ফুটনাংকে উঠিতে কত সময় নিবে এবং (খ) 50 g জল ফুটাইয়া বাষ্পিত করিতে কত সময় লাগিবে হিসাব কর। স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g। [উঃ (ক) 462 s ; (খ) ক-এর পর 270 s।]

14. $-20°C$ উষ্ণতার 1 g বরফকে ক্রমশ উষ্ণ করিয়া উষ্ণতা $120°C$-তে তোলা হইল ; বরফের আয়তন ও অবস্থার কি কি পরিবর্তন হইবে বল।

[সমাধান—আয়তন পরিবর্তন নিচের মত হইবে—

$0°C$-তে 1 g বরফের আয়তন = $1·09\ cm^3$;

" " জলের " = $1\ cm^3$;

$100°C$-তে " " " = $1·04\ cm^3$;

" " স্টীমের " = প্রায় $1650\ cm^3$ ।

তাহার পর আয়তন পরিবর্তন মোটামুটি চার্লস্ সূত্র অনুসারে হইবে।]

15. নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :—

(১) একটি ফ্লাস্কে খানিকক্ষণ ধরিয়া জল দ্রুত হারে ফুটাইয়া, ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ করিয়া উহাকে জলে ডুবাইলে ভিতরের জল আবার ফুটিয়া ওঠে কেন ?

(২) উঁচু পাহাড়ের উপরে রান্না করিতে নিচের সমতল ভূমিতে রান্না করার তুলনায় অসুবিধা কি হয়, এবং ইহা কি ভাবে দূর করা যায় ?

(৩) মাটির কলসীতে জল গ্রীষ্মকালেও ঠাণ্ডা থাকে কেন ?

(৪) উবনে হিমন কি করিয়া সম্ভব হইতে পারে ?

(৫) ড্রাই আইস (বা শুকনা বরফ) কি ভাবে তৈয়ারি হয় ?

(৬) একপাত্র জলে স্টীমের স্রোত পাঠাইয়া জল ফুটান যায় কি ? কারণ বল।

(৭) ইথারভরা পাত্রে এক টুকরা ব্লটিং কাগজ ডুবাইয়া কাগজের এক প্রান্ত পাত্রের কানার উপর রাখা হইলে দেখা যায় কাগজের ঐ প্রান্তে বরফকণা জমিয়াছে। ইহার কারণ কি ?

(৮) অ্যালকোহলে ভিজান এক টুকরা কাপড় দিয়া থার্মমিটারের বাল্‌ব জড়াইয়া রাখিলে থার্মমিটারের পাঠ কমে কেন ?

(৯) কি অবস্থায় কোন বস্তুতে তাপ দিলে উহার উষ্ণতা বাড়ে না ? এই তাপ কি ভাবে ফিরিয়া পাওয়া যাইতে পারে ?

16. $-20°C$ উষ্ণতার 5 g বরফকে তাপ দিয়া $100°C$-র স্টীমে পরিণত করা হইল। উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে কি কি পরিবর্তন হইবে বল। (টীকা—14 নং প্রশ্ন দেখ)

বরফের আপেক্ষিক তাপ 0·5, লীনতাপ 80 cal/g ও স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g হইলে উপরের পরিবর্তনে মোট কত তাপ লাগিবে ? [উঃ 3650 cal]

17. $100°C$ উষ্ণতার স্টীম বরফ ও জলের মিশ্রণে চালিত করিয়া দেখা গেল সমস্ত বরফ গলাইয়া পাত্রের জলের উষ্ণতা $4°C$-তে তুলিতে 1·5 g স্টীম জমান দরকার হয়। পাত্রে কতটা বরফ ছিল ? দেওয়া আছে পাত্র ও পাত্রের জলের জল-সম = 50 g ; বরফের লীনতাপ = 80 cal/g।

[উঃ প্রায় 9 g।]

18. চাপ বৃদ্ধিতে (ক) বরফের গলনাংক কমে ও (খ) জলের স্ফুটনাংক বাড়ে, ইহা দেখাইবার জন্য দুইটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। উভয় ঘটনার প্রয়োগের একটি করিয়া উদাহরণ দাও।

19. উবন ও স্ফুটনে প্রভেদ কি ? উহারা কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

তরলের বাষ্প চাপ উহার উপরস্থ চাপের সমান হইলে তরল ফুটিবে, ইহা কি ভাবে দেখাইতে পার ?

উবনে শৈত্যের সৃষ্টি হয় এমন একটি ঘটনা বর্ণনা কর, এবং উহার কারণ ব্যাখ্যা কর। কোন যন্ত্রে এই তথ্যের প্রয়োগ হয় জানা থাকিলে উহা বল।

20. $0°C$-তে 10 g জল নিয়া উহা দ্রুত উবানয় উহার খানিকটা উবিয়া গেল ও বাকীটা বরফে পরিণত হইল। আশপাশ হইতে কোন তাপ জলে না আসিয়া থাকিলে কতখানি জল উবান হইয়াছিল ? জলের লীনতাপ 600 cal/g ও বরফের লীনতাপ 80 cal/g। [উঃ প্রায় 1·2 g]

৭ ‖ হাইগ্রোমিতি
(Hygrometry)

7-1. বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প (Water vapour in the atmosphere)। ভূপৃষ্ঠের দুই তৃতীয়াংশের বেশী জলে ঢাকা। এই জলের পিঠ হইতে সব সময়ই উবন হইতেছে। সমস্ত পৃথিবীতে প্রতি ঘণ্টায় বহু মিলিয়ন (10^6) টন জল উবনে বাষ্পিত হইয়া বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যাইতেছে। কিন্তু এই জলীয় বাষ্প বায়ুতে সুষম ভাবে ছড়াইয়া নাই। ভূপৃষ্ঠের উষ্ণতা, উচ্চতা, জলের সান্নিধ্য, বায়ুস্রোত প্রভৃতি নানা কারণে বিভিন্ন স্থানে ভূপৃষ্ঠের কাছে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন। তা ছাড়া একই স্থানে বিভিন্ন সময়েও উহা বিভিন্ন হয়। বায়ুর অন্যান্য উপাদানের তুলনায় জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম হওয়া সত্ত্বেও বায়ুর জলীয় বাষ্প জমিয়া জলে পরিণত হওয়ার জন্যই বৃষ্টি, শিশির, কুয়াশা প্রভৃতি হয়।

বাসস্থানে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ একটা নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকিলে আরামপ্রদ হয়। এজন্য, সম্ভব হইলে বাসগৃহে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করা হয়। সুতী ও পশম শিল্পে, কৃত্রিম সিল্ক তৈয়ারী ও অন্যান্য বিবিধ শিল্পে বায়ুর জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখিতে হয়। তা ছাড়া, আবহাওয়ার পূর্বাভাস দিতেও বিস্তীর্ণ স্থানের বিভিন্ন জায়গায় একই সময়ে কোথায় বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কত তাহা জানা দরকার। এই সকল কারণে বিভিন্ন স্থানে, এবং একই স্থানে বিভিন্ন সময়ে বায়ুর আর্দ্রতা জানিতে হয়। **হাইগ্রোমিতি (Hygrometry)** বলিতে বায়ুর আর্দ্রতা মাপন, অর্থাৎ বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ মাপন, বুঝায়।

7-2. কয়েকটি কথার পুনরাবৃত্তি। আর্দ্রতা মাপন সংক্রান্ত আলোচনা আরম্ভ করার আগে ইতিপূর্বে আলোচিত কয়েকটি তথ্য স্পষ্ট মনে রাখা দরকার। আমাদের দরকারী প্রধান তথ্যগুলি নিচে দেওয়া হইল।

(১) জলীয় বাষ্প গ্যাসের মত চাপ দেয়।

(২) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাষ্পচাপের একটা ঊর্ধ্বসীমা আছে। ইহাকে **সংপৃক্ত** বাষ্পচাপ বলে।

(৩) উষ্ণতা বাড়ার সঙ্গে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বাড়ে।

(৪) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় প্রতি একক আয়তন বায়ুতে কতটা জলীয় বাষ্প থাকিতে পারিবে তাহার একটা ঊর্ধ্বসীমা আছে। ইহ উষ্ণতার উপর নির্ভর করে এবং উষ্ণতা বাড়িলে বাড়ে। চরম পরিমাণে বাষ্প থাকিলে ঐ স্থানকে জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত বলা হয়; এই অবস্থায় বাষ্পচাপ সংপৃক্ত বাষ্পচাপের সমান।

(৫) কোন স্থানে বাষ্পচাপ সংপৃক্ত বাষ্পচাপের চেয়ে কম হইলে, বা প্রতি একক আয়তন বায়ুতে চরম পরিমাণ বাষ্পের চেয়ে কম বাষ্প থাকিলে ঐ বাষ্প বা স্থানকে **অসংপৃক্ত** বলে।

(৬) বদ্ধ পাত্রে তরল ও উহার বাষ্প এক সঙ্গে থাকিলে বাষ্পচাপ সংপৃক্ত বাষ্পচাপের সমান। তরলের উপরের স্থানে চরম পরিমাণ বাষ্প থাকে ; ঐ স্থান বাষ্পে সংপৃক্ত।

(৭) যে কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ, বায়ুর চাপ ও বায়ুস্থ জলীয় বাষ্পের চাপের যোগফল (ড্যালটনের আংশিক চাপের সূত্র)।

(৮) অসংপৃক্ত বাষ্প স্থূলভাবে চার্লস ও বয়েলের সূত্র মানে, কিন্তু সংপৃক্তির কাছে সূত্র হইতে ব্যতিক্রম বাড়ে। সংপৃক্ত বাষ্প দুই সূত্রের কোনটিই মানে না।

7-3. শিশিরাংক (Dew point)। সাধারণত একক আয়তন বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাহা ঐ স্থান সংপৃক্ত করার পক্ষে যথেষ্ট নয়। বায়ু ক্রমশ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে উহা ক্রমশ সংপৃক্তির দিকে যায় এবং শেষ পর্যন্ত কোন এক উষ্ণতায় উপস্থিত জলীয় বাষ্পেই উহা সংপৃক্ত হয়। এই উষ্ণতাকে **শিশিরাংক (Dew point)** বলে। বায়ুকে শিশিরাংকের নিচে ঠাণ্ডা করিলে কিছু জলীয় বাষ্প তরল হইয়া পাত্রের গায়ে জমিবে ; তখন বাষ্পচাপও কমিবে এবং একক আয়তন বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণও কমিবে। এক গেলাস জলে বরফ ফেলিয়া জল ঠাণ্ডা করিয়া গেলাসের গায়ে শিশিরকণা জমিতে অনেকেই দেখিয়া থাকিবে। ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা শিশিরাংকের নিচে যাওয়ায় এরূপ হয়।

কোন স্থানের বায়ু ক্রমশ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলেও ঐ স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ কার্যত একই থাকিয়া যায়। বায়ুর চাপ বদলায় না বলিয়া জলীয় বাষ্পের চাপও বদলাইবে না। শিশিরাংকে বায়ু সংপৃক্ত হয় বলিয়া **শিশিরাংকে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বায়ুস্থ জলীয় বাষ্পচাপের সমান।**

বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের সংপৃক্ত বাষ্পচাপ যথেষ্ট সূক্ষ্মতায় মাপিয়া উহার সারণি তৈয়ারী হইয়াছে। নিচে 17°C হইতে 32°C উষ্ণতার পাল্লায় উহা দেওয়া হইল। কোন সময়ে কোন স্থানে শিশিরাংক জানা গেলে শিশিরাংকের সংপৃক্ত বাষ্পচাপই ঐ স্থানে ঐ সময়ে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের চাপ।

উষ্ণতা (°C)	বাষ্পচাপ (cm পারা)	উষ্ণতা (°C)	বাষ্পচাপ (cm পারা)	উষ্ণতা (°C)	বাষ্পচাপ (cm পারা)	উষ্ণতা (°C)	বাষ্পচাপ (cm পারা)
17	1·45	21	1·86	25	2·37	29	3·00
18	1·55	22	1·98	26	2·52	30	3·18
19	1·65	23	2·10	27	2·67	31	3·37
20	1·75	24	2·24	28	2·83	32	3·56

7-4. বায়ুর আর্দ্রতা (Humidity of air)। অনেক সময় বায়ুকে আমরা ভিজা (আর্দ্র) বা শুকনা বলিয়া বোধ করি। ভিজা বা শুকনা বোধ কেবলমাত্র বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। আসলে উহা (ক) নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণের সহিত (খ) ঐ আয়তন সংপৃক্ত করিতে

যে পরিমাণ বাষ্পের দরকার এই দুই-এর অনুপাতের উপর (অর্থাৎ (ক)/(খ) অনুপাতের উপর) নির্ভর করে। বায়ুর আর্দ্রতা দুইভাবে প্রকাশ করা যায় (১) 'নিরপেক্ষ আর্দ্রতা' (Absolute humidity) দিয়া ও (২) 'আপেক্ষিক আর্দ্রতা' (Relative humidity) দিয়া।

একক আয়তন বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে তাহাকে বায়ুর **নিরপেক্ষ আর্দ্রতা (Absolute humidity)** বলে। প্রতি ঘন মিটারে কত গ্রাম জলীয় বাষ্প আছে (g/m^3) তাহাই ইহার মান।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity) বলিতে নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে তাহা বায়ুর উষ্ণতায় ঐ আয়তন বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে পরিমাণ বাষ্পের দরকার তাহার যে ভগ্নাংশ, সেই ভগ্নাংশ বুঝায়। এই ভগ্নাংশ সাধারণত শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

ধরা যাক $1 m^3$ বায়ুতে কোন সময়ে 18 g জলীয় বাষ্প আছে। ঐ বায়ুর উষ্ণতায় $1 m^3$ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যেন 30 g বাষ্পের দরকার। তাহা হইলে ঐ সময়ে বায়ুর নিরপেক্ষ আর্দ্রতা $18 g/m^3$, এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$18 g/30 g = 3/5 = 60\%।$$

সুবিধার জন্য যদি মানিয়া লই অসংপৃক্ত বাষ্প সংপৃক্ত না হওয়া পর্যন্ত বয়েল সূত্র মানিয়া চলে, তাহা হইলে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব বা নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে, তাহা উপস্থিত বাষ্পচাপের সমানুপাতিক হইবে। এরূপ মাপন যথার্থ নয়; কিন্তু ইহার জন্য যে ব্যতিক্রম হয় তাহা আমাদের বর্তমান আলোচ্য ব্যাপারে উপেক্ষা করা চলে। এই মাপনের ভিত্তিতে শতকরা হিসাবে আপেক্ষিক আর্দ্রতার অন্য একটি সংজ্ঞা দেওয়া চলে:

$$\textbf{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প আছে তাহার চাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100.$$

বায়ুর জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাংকে সংপৃক্ত বাষ্পের সমান বলিয়া এই সংজ্ঞা অন্যভাবেও লেখা যায়:

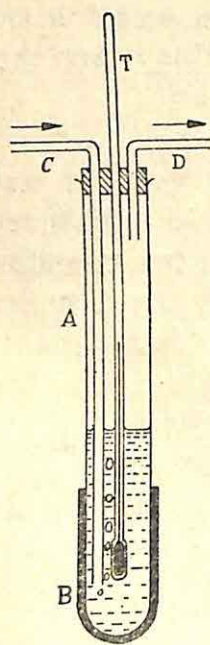
$$\textbf{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাংকে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পচাপ}} \times 100.$$

ধরা যাক বায়ুর উষ্ণতা 35°C, শিশিরাংক 26°C, 35°C-তে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ = 42·14 mm পারা এবং 26°C-তে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ 25·18 mm পারা। তাহা হইলে আপেক্ষিক আর্দ্রতার শেষ সংজ্ঞা অনুসারে এক্ষেত্রে

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{25{\cdot}18 \text{ mm পারা}}{42{\cdot}14 \text{ mm পারা}} \times 100 = 59{\cdot}8\%.$$

জলের উবনের হার বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে; নিরপেক্ষ আর্দ্রতার উপর নয়। বাসঘরের আর্দ্রতা 50% হইতে 60%-এর মধ্যে থাকিলে উহা আরামপ্রদ হয়।

7-5. আর্দ্রতা মাপনঃ হাইগ্রোমিটার (Hygrometer)। বায়ুর আর্দ্রতা মাপনের যন্ত্রের নাম 'হাইগ্রোমিটার'। এ পর্যন্ত বহু প্রকার হাইগ্রোমিটার উদ্ভাবিত হইয়াছে; উহাদের ক্রিয়াবিধিও একাধিক রকমের। এখন প্রধানত দুই রকমের হাইগ্রোমিটার ব্যবহৃত হয়। উহাদের এক প্রকারকে আমরা 'শিশিরাংক হাইগ্রোমিটার' (Dew point hygrometer) বলিতে পারি; অন্য প্রকারকে বলা চলে 'নিরীক্ষাভিত্তিক হাইগ্রোমিটার' (Empirical hygrometer)। এগুলি আপেক্ষিক আর্দ্রতা মাপে। নিরপেক্ষ আর্দ্রতা মাপার যন্ত্রকে 'রাসায়নিক হাইগ্রোমিটার' (Chemical hygrometer) বলে।

শিশিরাংক হাইগ্রোমিটারঃ রেনোর হাইগ্রোমিটার (Regnault's hygrometer)। শিশিরাংক হাইগ্রোমিটারে উজ্জ্বল কোন ধাতুপৃষ্ঠকে আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা করা হয়, এবং কোন্ উষ্ণতায় শিশির জমার জন্য উহা ম্লান হইতে আরম্ভ করে তাহা দেখা হয়। তার পর ধাতুপৃষ্ঠ উষ্ণ হইতে দিয়া উহার ম্লানিমা কোন্ উষ্ণতায় দূর হয় তাহা দেখা হয়। এই দুই উষ্ণতার গড় মানকে শিশিরাংক ধরা হয়। আপেক্ষিক আর্দ্রতা=(শিশিরাংকে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ/বায়ুর উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পচাপ) × 100 – এই সম্পর্ক প্রয়োগ করিয়া নির্ণেয় আর্দ্রতা বাহির করা হয়। ইহার জন্য জলের বাষ্পচাপ সারণি অবশ্য প্রয়োজনীয়।

চিত্র 7·1

উন্নততর যন্ত্রে ধাতুপৃষ্ঠ ম্লান হইয়াছে কি না তাহা বুঝিবার জন্য অনুরূপ ধাতুপৃষ্ঠ কাছাকাছি রাখা হয়, কিন্তু ইহা ঠাণ্ডা করা হয় না। রেনোর হাইগ্রোমিটার এই জাতীয় যন্ত্র।

রেনোর হাইগ্রোমিটারের প্রধান অংশ 7·1 চিত্রে দেখান হইয়াছে। A একটি কাচের নল; উহার নিচের অংশ বাহিরে পালিশ করা রূপায় তৈয়ারি। B অংশ ইথারে (ether-এ) ভরা থাকে। A-র মুখের ছিপির মধ্য দিয়া একটি থার্মমিটার T ও দুটি নল C ও D যায়। T ও C ইথারের ভিতর অবধি প্রসারিত; D হ্রস্ব। D দিয়া বায়ু টানিয়া নিতে থাকিলে ইথারের উপরে বায়ুচাপ কমায় C দিয়া বায়ু স্রোত আসিয়া ইথারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়। ইহাতে ইথার উবিতে থাকে এবং রূপার B নল ক্রমশ ঠাণ্ডা হয়। এক সময়ে আশ পাশের বায়ু সংপৃক্ত হওয়ার জন্য B-র বাহিরের পিঠে শিশির জমিতে থাকে ও B-র ঔজ্জ্বল্য কমে। তুলনা করার জন্য A-র সঙ্গে একই ফ্রেমে A-র মত আর একটি নল থাকে। উহার রূপার অংশের সঙ্গে তুলনা করিয়া B-তে শিশির জমিল কি না বোঝা যায়। জমার প্রথম আভাসেই T-র মান দেখা হয়। এই সময় CD-র বায়ু প্রবাহ বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে B আস্তে আস্তে উষ্ণ হইতে থাকে। উহার পূর্ব ঔজ্জ্বল্য ফিরিয়া আসা মাত্র T-র পাঠ আবার নেওয়া হয়। দুই পাঠের গড় মান শিশিরাংক।

বর্তমানে শিশিরাংক হাইগ্রোমিটারের গঠন আরও উন্নত করা হইয়াছে। কিন্তু উহাদের তত্ত্ব রেনোর হাইগ্রোমিটারের মতই।

7-6. বায়ুর জলীয় বাষ্প তরল হওয়া (Condensation of water vapour in the atmosphere)। ভূপৃষ্ঠ হইতে যে জল বাষ্প হইয়া বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যায় তাহা আবার বৃষ্টি, শিশির, কুয়াশা প্রভৃতির আকারে তরল অবস্থায় ভূপৃষ্ঠে দেখা দেয়।

বায়ুতে ধূলিকণা বা জল-আকর্ষক অণু থাকিলে জলীয় বাষ্পের অণুগুলি উহার উপরে সহজে জড়ো হইয়া জলকণার সৃষ্টি করিতে পারে। নহিলে বাষ্প অণু জড়ো হইয়া জলকণায় পরিণত হইতে বাষ্প অতি-সংপৃক্ত (super-saturated) হওয়া দরকার হয়। কয়লা পোড়ার সময় কিছু SO_2 অণু সৃষ্ট হয়। ইহা জল আকর্ষক। সহরের কাছের বায়ুতে SO_2 অণু থাকায় বায়ুতে কুয়াশার সৃষ্টি সহজেই হইতে পারে।

নিচে জলীয় বাষ্প হইতে শিশির, কুয়াশা, মেঘ প্রভৃতির গঠন আলোচনা করা হইল।

শিশির (Dew)। দিনের বেলা সূর্যের তাপে ভূপৃষ্ঠের সকল বস্তু গরম হয়, এবং উহাদের সংস্পর্শে আসিয়া বায়ুও গরম হয়। (বায়ু সোজাসুজি সূর্যকিরণ শোষণ করিয়া গরম হয় না।) রাত্রে বস্তুগুলি বিকিরণে তাপ হারায়। যে সকল বস্তুর বিকিরণ বেশী হয়, তাহারা তাপ হারাইয়া আশপাশের বায়ুর চেয়ে ঠাণ্ডা হয়। ইহাদের সংস্পর্শে বায়ুও ঠাণ্ডা হয়। বায়ু এইভাবে ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাংকের নিচে গেলে বায়ুর জলীয় বাষ্প অংশত বায়ুর সংস্পর্শে অবস্থিত বস্তুগুলির উপর শিশিরকণা রূপে জমে। এই প্রক্রিয়া হইতে শিশির জমার শর্তগুলি বোঝা যায়। শর্তগুলি আলাদা করিয়া নিচে বলা হইল।

(১) পরিষ্কার আকাশ। আকাশে মেঘ থাকিলে ভূপৃষ্ঠ হইতে বিকিরণ ভাল হয় না, কারণ মেঘ বিকিরিত তাপ শুষিয়া নেয় বলিয়া ভূপৃষ্ঠ হইতে বিকিরণ কমে। ইহাতে ভূপৃষ্ঠের বস্তুগুলি বিকিরণে বেশী ঠাণ্ডা হইতে পারে না।

(২) বায়ুপ্রবাহ (বাতাস) না থাকা। বাতাস থাকিলে ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে বায়ু বেশীক্ষণ থাকিতে পারিবে না, এবং বায়ু যথেষ্ট ঠাণ্ডাও হইবে না।

(৩) বায়ুতে যথেষ্ট জলীয় বাষ্প থাকা। ইহা থাকিলে বায়ু সংপৃক্ত হইতে উহাকে বেশী ঠাণ্ডা করা দরকার হয় না।

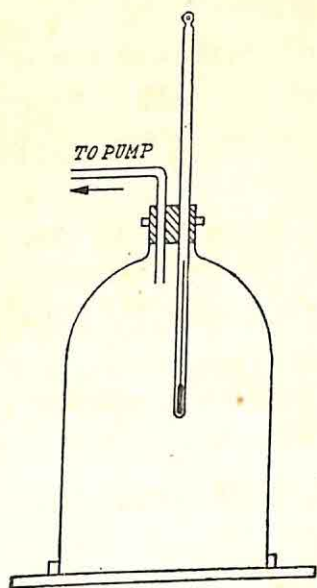
(৪) ভূপৃষ্ঠের কাছে ভাল বিকিরক থাকা। এরূপ বস্তু তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয় এবং বায়ুকে শিশিরাংকের নিচে নিয়া যায়। ভূপৃষ্ঠের বেশী উপরে থাকিলে বায়ু কিছু ঠাণ্ডা হইলেই নিচে নামিয়া আসিবে এবং উপর হইতে উষ্ণতর বায়ু সে স্থান অধিকার করিবে। ইহাতে বায়ুর প্রয়োজনীয় শীতলন হইবে না।

ঘাস এবং গাছের পাতায় যে শিশির জমে তাহা উহাদের ত্যক্ত জলীয় বাষ্প। বায়ু শিশিরাংকের নিচে থাকিলে ঐ বাষ্প জমিয়া জলকণায় পরিণত হয়।

কণতুষার (Hoar frost)। শিশিরাংক 0°C-র নিচে এবং ভূপৃষ্ঠের কাছের বস্তুগুলির উষ্ণতা আরও কম হইলে বায়ুর জলীয় বাষ্প তরল না হইয়া সোজাসুজি কঠিন হইয়া তুহিন কণার আকারে ঘাস ইত্যাদির উপর জমে। ইহাকেই কণতুষার বলে।

কুয়াশা (Fog)। বায়ুপ্রবাহহীন রাতে ভূপৃষ্ঠের কাছের বায়ু অনেকখানি জায়গা জুড়িয়া শিশিরাংকের নিচে ঠাণ্ডা হইলে, ঐ বায়ুর জলীয় বাষ্প জমিয়া খুব ছোট জলকণায় পরিণত হইয়া বায়ুতেই ভাসিয়া থাকিতে পারে। ইহাকেই কুয়াশা বলে। খুব সূক্ষ্ম জলকণা হইলে ঐ জলকণাবাহী বায়ুর ভিতর দিয়া এক কিলোমিটার দূরের জিনিসও দেখা গেলে এরূপ কুয়াশাকে ইংরেজীতে Mist (মিস্‌ট্‌) বলে। তাহার চেয়ে কমদূর পর্যন্ত দেখা গেলে উহাকে বলে Fog (ফগ্‌)। ফগ্‌ ও মিস্‌ট্‌ আলাদা করিয়া বুঝাইতে বাংলায় উপযুক্ত কোন কথা নাই; উভয়েই কুয়াশা—ফগ ঘন, মিস্‌ট্‌ ক্ষীণ। পার্বত্য অঞ্চলে যে ফগ বা মিস্‌ট্‌ দেখা যায় তাহা পাহাড়ের গায়ের ঠাণ্ডা হাওয়া ও উপত্যকাভূমির উষ্ণ হাওয়ার মিশ্রণে হয়।

মেঘ (Clouds)। বিস্তীর্ণ জলরাশি হইতে আর্দ্র উষ্ণ বায়ু উপরে উঠিতে থাকিলে ক্রমশ ঠাণ্ডা হয়। এইভাবে বায়ুরাশির উষ্ণতা শিশিরাংকের নিচে গেলে বায়ুর জলীয় বাষ্প জমিয়া ছোট ছোট জলকণায় পরিণত হইয়া মেঘের সৃষ্টি করে। বাষ্পের সঙ্গে সামুদ্রিক লবণের কণাও বাহিত হইয়া থাকিলে এই কণাগুলির উপর জলীয় বাষ্প সহজে জমিয়া মেঘের সৃষ্টি করিতে পারে। মেঘকে ঊর্ধ্ব আকাশে সৃষ্ট কুয়াশা মনে করা চলে। ভূপৃষ্ঠের কুয়াশায় বায়ুপ্রবাহ থাকে না, কিন্তু আকাশের কুয়াশা (মেঘ) বায়ু বাহিত। মেঘ দু ভাবে সৃষ্ট হইতে পারে—(১) সংপৃক্ত উষ্ণ বায়ু ও ঠাণ্ডা বায়ুর মিশ্রণে, এবং (২) উপরের চাপ কম বলিয়া নিচের বায়ু উপরে ওঠায় প্রসারিত হয়; প্রসারণে উহা ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাংকের নিচে যাইতে পারে।

আর্দ্র বায়ুর প্রসারণে কুয়াশার সৃষ্টি একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যেই দেখা যাইতে পারে। 7·2 চিত্রে নির্বাত পাম্পের (Exhaust pump-এর) সঙ্গে লাগান একটি বেলজার (Bell jar) দেখান হইয়াছে। জারের ভিতরে একটি থার্মমিটার ঢুকান। জারে বায়ু ঢুকিবার পথ বন্ধ। প্রথমে পাম্প চালাইয়া জারে আংশিক শূন্যতা সৃষ্টি করা হয়। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে জারের ভিতরের ও বাহিরের বায়ুর উষ্ণতা সমান হয়। এই অবস্থায় বাহির হইতে কিছু আর্দ্র বায়ু জারের ভিতরে ঢুকিতে দিলে উহা প্রসারিত হইয়া ঠাণ্ডা হয়। থার্মমিটারে এই উষ্ণতা হ্রাস দেখা যায়। আর্দ্র বায়ু প্রায় সংপৃক্ত হইলে এবং উহাতে ধূলিকণা থাকিলে, প্রসারণে জারের ভিতরে কুয়াশার সৃষ্টি হইবে এবং উহা একটু পরে মিলাইয়া যাইবে।

চিত্র 7·2

সংপৃক্ত বায়ু প্রসারিত হইয়া ঠাণ্ডা হইলে জলীয় অণুগুলি বায়ুস্থ আয়নের (Ion-এর) উপর খুব সহজে জমে। এই তথ্যকে ভিত্তি করিয়া বিজ্ঞানী উইলসন (Wilson) তাঁহার বিখ্যাত 'মেঘপ্রকোষ্ঠ' (Cloud chamber) উদ্ভাবন করেন। ইহার সাহায্যে বায়ুতে

একটি মাত্র দ্রুতবেগী আধান বা আয়নের পথ দেখা এবং উহার ফটো তোলা যায়। পারমাণবিক পদার্থ বিদ্যায় (Atomic physics) একটি মাত্র আধানের (ইলেকট্রন, প্রোটন ইত্যাদির) আচরণ বিচারে এই যন্ত্র এত সহায়ক হয় যে ইহার জন্য উইলসনকে বিখ্যাত নোবেল প্রাইজ দেওয়া হয়।

বৃষ্টি (Rain)। মেঘের ছোট ছোট জলকণা একত্র হইয়া আকারে বড় হয়। এইভাবে গঠিত বারিবিন্দু বৃষ্টির আকারে মাটিতে পড়িবে কি না তাহা মেঘের নিচে বায়ুর অবস্থা, মেঘের ঊর্ধ্বমুখী বেগ ও অন্যান্য বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

বৃষ্টির ফোঁটাগুলি কি বেগে মাটিতে পড়িবে তাহা উহাদের আকারের উপর নির্ভর করে। ইহা বায়ুতে অবাধ পতন (free fall) নয়, কারণ বায়ু উহাদের পতনে বাধা দেয় এবং এই বাধা পতনের বেগের সঙ্গে বাড়ে। জলবিন্দুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ এবং বায়ুর বাধা সমান হইলে তাহার পর পতনের বেগ আর বাড়ে না। জলবিন্দু এই সীমান্ত বেগে (Terminal velocity-তে) বাকী পথ যায়। সীমান্ত বেগ জলবিন্দুর ওজনের ও আকারের উপর নির্ভর করে। বৃষ্টির ফোঁটার ব্যাস 5·5 mm এর চেয়ে বড় হয় না। আরও বড় হইলে পড়ার সময় উহারা ভাঙিয়া ছোট হয়। বড় ফোঁটাগুলি মাটিতে প্রায় সেকেণ্ডে আট মিটার (ঘণ্টায় প্রায় 20 মাইল) বেগে পড়ে ; ছোটগুলি আরও কম বেগে পড়ে।

মেঘে গঠিত জলবিন্দু মাটিতে পৌঁছিতে হইলে (১) মেঘের ঊর্ধ্বমুখী বেগ জলবিন্দুর সীমান্ত বেগের চেয়ে কম হইতে হইবে, (২) পড়িবার সময় উহার সীমান্ত বেগের চেয়ে জোরাল কোন ঊর্ধ্বমুখী বায়ুস্রোতে উহা পড়িবে না এবং (৩) পড়িতে পড়িতে উহা সম্পূর্ণ উবিয়া যাইবে না।

মেঘের জলবিন্দুগুলি অনবরত পালা করিয়া জুড়িয়া বড় হয় ও ভাঙিয়া ছোট হয়। ভাঙিবার সময় ছোট অংশ নিগেটিভ আধানে ও বড় অংশ পজিটিভ আধানে আহিত হয়। উর্ধ্বগামী বায়ুস্রোত নিগেটিভ আধানে আহিত ছোট জলকণাগুলিকে মেঘের উপরের দিকে তোলে ; পজিটিভ আধানে আহিত বড় জলকণাগুলি মেঘের নিচের দিকে থাকিয়া যায়। দুই আধানে আহিত মেঘের দুই অংশের মধ্যে বিদ্যুৎ ক্ষরণে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ গঠিত হইতে পারে। বৃষ্টির সঙ্গে বজ্র ও বিদ্যুৎ স্ফুরণের সম্পর্ক এই কারণেই ঘটে।

অনুশীলনী

1. শিশিরাংক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা কাহাদের বলে? শেষোক্ত রাশিটি কি এককে প্রকাশ করা হয়? আপেক্ষিক ও নিরপেক্ষ আর্দ্রতার প্রভেদ বল।

2. শিশিরাংক বাহির করিবার যে কোন একটি যন্ত্র বর্ণনা কর। উহার সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কিভাবে বাহির করিবে?

3. বাষ্পচাপ কাহাকে বলে? সহজে কি করিয়া প্রমাণ করিবে যে (১) প্রত্যেক তরলের বাষ্পচাপ আছে ; (২) উষ্ণতা বাড়িলে নির্দিষ্ট তরলের বাষ্পচাপ বাড়ে; (৩) একই উষ্ণতায় বিভিন্ন তরলের বাষ্পচাপ বিভিন্ন ; (৪) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট তরল যে বাষ্পচাপ দিতে পারে তাহার একটা ঊর্ধ্বসীমা আছে। (6-5 ও 6-5.1 বিভাগ দেখ।)

4. শিশির ও কুয়াশা কিভাবে সৃষ্ট হয় বল।

5. নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(১) কোন থার্মমিটারের বালবের চারদিকে অল্প একটু কাপড় জড়াইয়া পালা করিয়া কাপড় (ক) জল, (খ) ইথার, (গ) তেল, দিয়া ভিজান হইল। তিন ক্ষেত্রে থার্মমিটারের পাঠ আলাদা হইবে কেন বুঝাইয়া বল।

(২) গ্রীষ্মকালের গরম কোন এক দিনে ভাল এক পশলা বৃষ্টি হইয়া গেলে, খোলা জায়গায় রাখা বরফের চাপ হইতে ধোঁয়া বাহির হইতেছে বলিয়া মনে হয় কেন?

(৩) ফুটন্ত জলের কেটলি হইতে যে স্টীম বাহির হয় তাহা কোথায় যায়?

(৪) শীতের সকালে কাচের উপর ফুঁ দিলে উহা ঝাপসা হয়, কিন্তু গ্রীষ্মকালে এরূপ হয় না কেন ?

(৫) গ্রীষ্মকালে বৃষ্টির আগে সাধারণত বেশী গুমোট মনে হয় কেন ?

(৬) শিশিরাংক বায়ুর উষ্ণতার সমান হইলে উহাতে বায়ুর কি অবস্থা বুঝায় ?

(৭) উষ্ণ, আর্দ্র বায়ু উষ্ণতর অথচ কম আর্দ্র বায়ুর চেয়ে বেশী কষ্টদায়ক হয় কেন ?

6. 7-3 বিভাগে দেওয়া বাষ্পচাপের সারণি হইতে নিচের দুই ক্ষেত্রে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির কর ঃ

(ক) ঘরের উষ্ণতা 32°C, শিশিরাংক 20°C। [উঃ 49·1%]

(খ) ,, 29°C, শিশিরাংক 23°C। [উঃ 70%]

7. ব্যারোমিটারের টরিচেল্লীয় শূন্যস্থানে (ক) একটু বায়ু, (খ) একটু জল ঢুকাইলে যন্ত্রের পাঠ কি রকম বদলাইবে ? বায়ু কি জল ঢুকিয়াছে তাহা কিভাবে বুঝিতে পার ?

8. নীচের উক্তিগুলির অর্থ কি ?

(ক) 20°C-তে জলীয় বাষ্পচাপ 17·5 mmHg।

(খ) বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা 60%।

(গ) কোন এক বিশেষ সময়ে শিশিরাংক 19·5°C।

9. নীচের ক্রিয়াগুলিতে শিশিরাংক ও আর্দ্রতার কোন পরিবর্তন হইবে কি না বুঝাইয়া বল ঃ

(ক) ঘরে খানিকটা জল কিছু কিছু করিয়া ছিটাইয়া দেওয়া হইল।

(খ) ঘরের উষ্ণতা বাড়ান হইল।

৮ তাপ সঞ্চালন
(Transmission of heat)

8-1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন উপায় (Different methods of transference of heat)। তিনটি বিভিন্ন উপায়ে তাপ এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে, বা একই বস্তুর এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যাইতে পারে। এই উপায় তিনটির নাম (১) পরিবহণ (Conduction), (২) পরিচলন (Convection) ও (৩) বিকিরণ (Radiation)।

[উষ্ণতা ও তাপ সংক্রান্ত **দুটি মৌলিক কথা** মনে রাখিলে তাপ সঞ্চালন ও তাপ উৎপাদন সংক্রান্ত বিষয়গুলি সহজে বোঝা যাইবে। **(1)** উষ্ণতা বস্তুর অণুর গড় গতিশক্তির আনুপাতিক। কঠিন পদার্থে অণুর গতিশক্তি কম্পনের, তরল পদার্থে ইহা প্রধানত অণুর এলোমেলো গতির গতিশক্তি, এবং বাষ্প বা গ্যাসে ইহা সম্পূর্ণরূপে অণুর এলোমেলো গতির গতিশক্তি। অণুর কম্পন বা গতির বেগ বাড়িলে উষ্ণতা বেশী হয়। **(2)** দুই বস্তুতে বা দুই স্থানে উষ্ণতার (অণুর গড় গতিশক্তির) প্রভেদ থাকিলে বেশী উষ্ণতার বস্তু বা স্থান হইতে শক্তি কোন না কোন রূপ নিয়া কম উষ্ণতার বস্তুতে বা স্থানে প্রবাহিত হয়। এই প্রবহমান শক্তিই তাপ। প্রবাহ বন্ধ হইলে স্থানান্তরিত শক্তিকে আর তাপ বলা হয় না। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই এই স্থানান্তরিত শক্তি শীতলতর বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তিতে (Internal energy-তে) পরিণত হয়। অভ্যন্তরীণ শক্তি আর তাপ এক নয়। অভ্যন্তরীণ শক্তির কোন অংশ কোন ভাবে স্থানান্তরিত হইতে থাকিলে সেই প্রবহমান শক্তিই তাপ। পরের দুই পরিচ্ছেদে এ সংক্রান্ত আরও আলোচনা করা হইয়াছে।]

(১) পরিবহণ (Conduction)। একটি লোহার শিকের একমাথা হাতে ধরিয়া অন্য মাথা উনানে ঢুকাইয়া দিলে একটু পরেই শিকের হাতে ধরা মাথা ক্রমশ গরম হইতেছে টের পাওয়া যাইবে। উনানের ভিতরে শিকের মাথা গরম হয় এবং তাপ শিকের উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে প্রবাহিত হইতে থাকে। এরূপ প্রক্রিয়ায় শিকের অণুগুলি স্থানচ্যুত না হইয়া তাপ শক্তিকে উষ্ণতর অণু হইতে শীতলতর অণুতে স্থানান্তরিত করিতে থাকে। ইহাই পরিবহণ।

পরিবহণে বাস্তব মাধ্যম (material medium)-এর উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে মাধ্যমের অণুগুলি মারফত তাপ শক্তি স্থানান্তরিত হয়; অণুগুলি নিজেরা স্থান ত্যাগ করে না। ইহা কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় তিন রকম পদার্থেই হইতে পারে।

(২) পরিচলন (Convection)। গরম উনানের কিছু উপরে হাত রাখিলে হাতে গরম বোধ হইবে। উনানের সংস্পর্শে বায়ু গরম হয়। গরম বায়ু হালকা বলিয়া উপরে ওঠে এবং হাতের সংস্পর্শে আসিয়া গরম বোধ জন্মায়। এক্ষেত্রে বায়ুর অণুগুলি নিজেরা উষ্ণ হইয়া স্থানান্তরিত হইয়া হাতকে নিজেদের শক্তির কিছু অংশ দিয়া গরম করিল। এই প্রক্রিয়াই পরিচলন। পরিচলনে কোন উষ্ণ মাধ্যম স্থানান্তরিত হইয়া অন্য বস্তুকে উষ্ণ করে। উষ্ণতা বাড়িলে মাধ্যম হালকা

হয়, এবং ঘনত্বের প্রভেদের জন্য পরিচলন প্রবাহের সৃষ্টি হয়। সহজেই বোঝা যায় পরিচলন কেবল তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে হইতে পারে, কঠিন পদার্থে নয়।

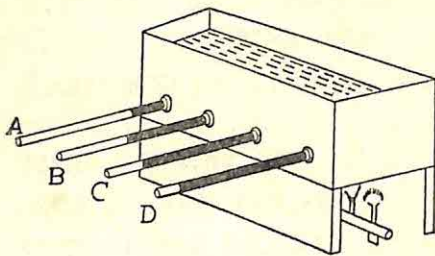
(৩) বিকিরণ (Radiation)। গরম উনানের কিছু উপরে হাত না রাখিয়া পাশের দিকে কিছু দূরে হাত রাখিলেও হাতে গরম বোধ হইবে। এই উষ্ণতা বোধ পরিচলন প্রবাহের জন্য হইতে পারে না, কারণ পরিচলন প্রবাহ উপরের দিকে ওঠে। (আমরা ধরিয়া নিতেছি ঘরে বায়ুপ্রবাহ নাই।) বায়ুতে পরিবহণও এখানে ক্রিয়া করে না, কারণ উষ্ণ বায়ু উপরে উঠিয়া যায়। তাহা হইলে পরিবহণ ও পরিচলন ছাড়া তৃতীয় কোন প্রক্রিয়া আছে যাহার সাহায্যে তাপ এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে সঞ্চালিত হইতে পারে। এই তৃতীয় প্রক্রিয়ার নাম বিকিরণ। সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ বিকিরণে আসে। যে প্রক্রিয়ায় তাপ এক বস্তু হইতে দূরস্থ অন্য বস্তুতে সঞ্চালিত হয়, কিন্তু দুই বস্তুর মধ্যস্থ মাধ্যমকে উষ্ণ করে না, তাহাকে বিকিরণ বলে।

ক্রমশ জানিতে পারিবে পরিবহণ ও বিকিরণই তাপ সঞ্চালনের মৌলিক প্রক্রিয়া। পরিচলন আসলে পরিবহণ, বিকিরণ এবং তরল বা গ্যাসের প্রবাহের সমবেত ক্রিয়া।

8-2. তাপের পরিবহণ। তাপ পরিবহণে বাস্তব মাধ্যম দরকার। মাধ্যমের অণুগুলি উহাদের এক পাশের বেশী গতিশক্তির অণুগুলি হইতে কিছু শক্তি নিয়া অন্য পাশের কম গতিশক্তির অণুতে উহা স্থানান্তরিত করে। (কি প্রক্রিয়ায় অণু হইতে অণুতে শক্তি সঞ্চালন হয় তাহার আলোচনা জটিল, এবং আমাদের গণ্ডীর বাহিরে। তবুও তরল ও গ্যাসে ইহা ধাক্কাধাক্কি বলিয়া আমরা মনে করিতে পারি। কঠিন পদার্থে প্রক্রিয়া বেশী জটিল।)

বিভিন্ন পদার্থের তাপ পরিবহণ ক্ষমতা বিভিন্ন। কাচের রডের (rod) একমাথা হাতে ধরিয়া অন্য মাথা গরমে লাল করা যায়; কিন্তু লোহার ক্ষেত্রে তাহা পারা যায় না। লোহার তাপ পরিবহণ করার ক্ষমতা বেশী, কাচের কম।

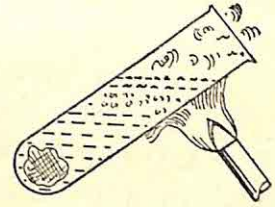
8-2.1. বিভিন্ন কঠিন পদার্থের পরিবহণ ক্ষমতা তুলনা—ইংগেনহাউজের পরীক্ষা (Comparing conductivities of different solids—Ingenhausz's experiment)। বিভিন্ন কঠিন পদার্থের পরিবাহিতা তুলনা করার সহজ একটি উপায় ইংগেনহাউজ উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। 8·1 চিত্রে ইহার ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে। পরীক্ষণীয় পদার্থগুলি (ধর তামা, লোহা, পিতল, কাচ ইত্যাদি) সমান লম্বা ও সমান ব্যাসের পরিষ্কার শিকের আকারে নেওয়া হয়। উহাদের বাহিরে গলান মোম লাগাইয়া উহাদের এক প্রান্ত কর্কের ছিপির মধ্য দিয়া একটি উপর খোলা চৌকা বাক্সে ঢুকান হয়।

চিত্র 8·1

এই বাক্স জলে ভরিয়া ফুটান হয়। জল হইতে তাপ শিকগুলি দিয়া পরিবাহিত

হইয়া আসে এবং শিকে লাগান মোম গলায়। কিছুক্ষণ পরে দেখা যায় বিভিন্ন শিকে মোম বিভিন্ন দূরত্ব পর্যন্ত গলিয়াছে, এবং ইহার আর পরিবর্তন হইতেছে না। গণিত প্রয়োগে দেখা যায় যে, যে শিকে মোম যতটা দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গলিয়াছে তাহার পদার্থের পরিবাহিতা (conductivity) **ঐ দূরত্বের বর্গের অনুপাতিক।**

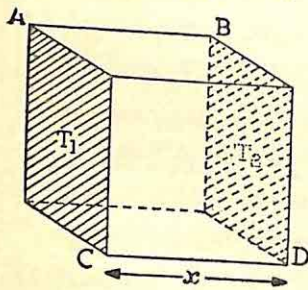
ধাতুগুলি ভাল পরিবাহী; ইহাদের মধ্যে রূপা সব চেয়ে বেশী। তামা রূপার কাছাকাছি। কঠিন পদার্থ সাধারণত তরলের চেয়ে ভাল পরিবাহী। গ্যাস সব চেয়ে কম পরিবাহী।

জলের পরিবাহিতা বেশ কম ইহা সহজেই দেখান যায়। এক টুকরা বরফকে তারের জাল দিয়া মুড়িয়া উহাকে জলের চেয়ে ভারী করা যায়। একটি টেষ্ট টিউবের প্রায় দুই তৃতীয়াংশ ঠাণ্ডা জলে ভরিয়া উহার ভিতরে এই রকম তারের জালে মোড়া একখণ্ড বরফ ফেলিলে বরফখণ্ড নলের তলায় পড়িবে। নল কাত করিয়া জলের উপরের দিক বুনসেন শিখায় উষ্ণ করিয়া উপরের দিকের জল ফুটাইলেও (8·2 চিত্র) দেখা যাইবে নলের তলায় বরফ গলে নাই। জলে পরিবাহিত হইয়া যথেষ্ট তাপ ফুটন্ত জল হইতে নলের তলায় যাইতে পারে নাই।

চিত্র 8·2

গ্যাসের পরিবাহিতা খুবই কম। তামা জলের তুলনায় প্রায় 700 গুণ বেশী তাপ পরিবহণ করিতে পারে। জল গ্যাসের তুলনায় প্রায় 25 গুণ বেশী তাপ পরিবহণ করে। পশম, তুলা, ফেল্ট (Felt) প্রভৃতি তাপ কুপরিবাহী; পরিবহণে তাপক্ষয় কমাইবার জন্য ইহাদের ব্যবহার করা হয়। ইহাদের কুপরিবাহিতা ইহাদের ফাঁকে ফাঁকে আবদ্ধ অসংখ্য বায়ুকোষের (air pockets) জন্য।

8-2.2. তাপ পরিবাহিতা (Thermal conductivity)। মনে কর কোন মাধ্যমে তাপ সরল রেখায় উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানের দিকে প্রবাহিত হইতেছে। মাধ্যমের ঐ অংশে S প্রস্থচ্ছেদ এবং x দৈর্ঘ্যের একখানা সমকোণী ষট্‌ফলক (Rectangular slab) বা ঘনক ABCD (8·3 চিত্র) কল্পনা কর। উহার $AB = CD = x$ বাহু প্রবাহের সমান্তরালে এবং দুই প্রান্ত AC ও BD প্রবাহের অভিলম্বে। AC তলের উষ্ণতা $T_1°$ এবং BD তলের $T_2°$ $(T_1 > T_2)$। দূরত্ব x-এর সঙ্গে উষ্ণতা সুষমহারে T_1 হইতে T_2-তে কমে। AC হইতে BD তলের মধ্যস্থিত যে কোন প্রস্থচ্ছেদ অতিক্রম করিয়া যে তাপ (Q) প্রবাহিত হয় তাহা

চিত্র 8·3

(১) প্রস্থচ্ছেদ S-এর আনুপতিক,

(২) AC ও BD প্রান্তের উষ্ণতার প্রভেদের ($T_1°-T_2°$-র) আনুপাতিক,
(৩) AC ও BD-র দূরত্ব x-এর বিষমানুপাতিক, ও
(৪) প্রবাহকাল t-র আনুপাতিক।
সংকেতে লেখা যায় $Q \propto S\ (T_1\text{-}T_2)\ t/x$ বা

$$Q = KS\frac{T_1\text{-}T_2}{x}\ t \qquad (8\text{-}2.1)$$

এই সমীকরণে K একটি স্থির রাশি ; উহার মান কেবল মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এবং উহাকে মাধ্যমের তাপ পরিবাহিতা বলে। $(T_1-T_2)/x$ রাশিটিকে 'উষ্ণতার নতিমাত্রা' (Temperature gradient) বলে।

উপরের সমীকরণে S, $(T_1-T_2)/x$ এবং t এই রাশি তিনটির প্রত্যেকটির মান এক একক বলিয়া ধরিলে $K=Q$ হয়। ইহা হইতে K-র সংজ্ঞা ভাষায় নিচের মত করিয়া বলা যায় :

তাপ পরিবাহিতার সংজ্ঞা। কোন মাধ্যমের সমান্তরাল দুই তলের দূরত্ব এক একক এবং উহাদের উষ্ণতার প্রভেদ এক ডিগ্রী হইলে দুই তলের মধ্যস্থিত একক ক্ষেত্রফলের কোন সমান্তরাল তল অতিক্রম করিয়া প্রতি একক সময়ে যে পরিমাণ তাপ যায় তাহাকে ঐ মাধ্যমের **তাপ পরিবাহিতা** বলে। তাপ প্রবাহ কল্পিত একক তলের অভিলম্বে হওয়া চাই।

বিকল্পে বলা যায়, কোন স্থানে উষ্ণতার নতিমাত্রা এক একক হইলে তাপ প্রবাহের অভিলম্বে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের তল অতিক্রম করিয়া একক সময়ে যে পরিমাণ তাপ প্রবাহিত হয় তাহাকে ঐ মাধ্যমের **তাপ পরিবাহিতা** বলে।

তাপ পরিবাহিতার একক। 8-2.1 সমীকরণে সকল রাশিগুলি সিজিএস্ এককে প্রকাশ করিলে K (তাপ পরিবাহিতা)-ও সিজিএস্ এককে হইবে। Q ক্যালরিতে, উষ্ণতা °C-তে S cm^2-এ x cm-এ ও t সেকেণ্ডে নিলে,

$K=Q\ (\text{cal})\ x\ (\text{cm})/S\ (\text{cm}^2)\ (T_1\text{-}T_2)\ °\text{C}.\ t\ \ (\text{s})$ হইবে। অতএব K-র সিজিএস্ একক হইল $1\ \text{cal cm}^{-1}\text{s}^{-1}{}°\text{C}^{-1}$। তামার পরিবাহিতা 0·92 সিজিএস্ একক বলিলে বুঝায় তামায় কোথাও উষ্ণতার নতিমাত্রা প্রতি সেন্টিমিটারে 1 C° হইলে ঐ স্থানে তাপ প্রবাহের অভিলম্বে রাখা $1\ \text{cm}^2$ ক্ষেত্রফলের তল অতিক্রম করিয়া প্রতি সেকেণ্ডে 0·92 cal তাপ যাইবে।

সিজিএস্ এককে ($\text{cal cm}^{-1}\text{s}^{-1}\ °\text{C}^{-1}$) তাপ পরিবাহিতার সারণি

অ্যালুমিনিয়াম	0·50	সীসা	0·083	কর্ক	0·00011
পিতল	0·26	পারা	0·020	অ্যাসবেসটস	0·0003
তামা	0·92	জল	0.0014	ইট	0·0003
রূপা	0·97	কাচ	0·0025	ফেল্ট	0·00009
সোনা	0·72	ওক কাঠ	0·0006	বায়ু	0·00006
লোহা	0·115	বালি	0·00013		

প্রশ্ন। (1) একখানা তামার পাত 5 cm মোটা এবং উহার ক্ষেত্রফল 1 m^2। উহার বিপরীত পিঠ 10 C° উষ্ণতার প্রভেদে রাখিলে 10 মিনিটে এক তল হইতে অন্য তলে কত তাপ প্রবাহিত হইবে? তামার পরিবাহিতা 0·9 সিজিএস্ একক।

[সমাধান—7-2.1 সমীকরণ প্রয়োগ কর। এখানে $S = 1 \text{ m}^2 = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10^4 \text{cm}^2$, $T_1 - T_2 = 10$ C°, $x = 5$ cm এবং $K = 0{\cdot}9$ সিজিএস্ একক, $t = 10 \times 60$ s। অতএব $Q = 1{\cdot}08 \times 10^7$ cal.]

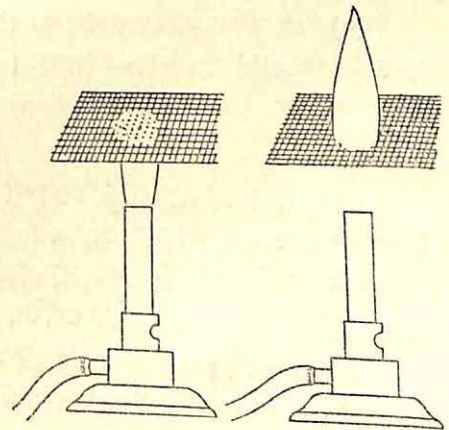
(2) জল ফুটাইবার জন্য একটি অ্যালুমিনিয়ামের পাত্র উনানের উপর রাখা হইল। উহার তলা 1 mm মোটা। পাত্রের তলার প্রত্যেক 1 cm^2 ক্ষেত্র হইতে 2 মিনিটে 1 g জল বাষ্পিত হইলে, পাত্রের যে তল উনানের দিকে তাহার উষ্ণতা কত? অ্যালুমিনিয়ামের তাপ পরিবাহিতা = 0·5 সিজিএস্ একক। জলের লীনতাপ = 540 cal/g।

[সমাধান—এখানেও 7-2.1 সমীকরণ প্রযোজ্য। 2 মিনিটে 1 g জল বাষ্পিত হওয়ায় 1 cm^2 তল দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে 540 cal/2×60 s তাপ আসে। অতএব $Q = 540$ cal/120 s, $S = 1 \text{ cm}^2$, $K = 0{\cdot}5$ cgs একক, $T_2 = 100$°C, $x = 0{\cdot}1$ cm ; T_1-এর মান চাই। উ: প্রায় 101°C।

টীকা—উনানের উষ্ণতা মোটামুটি 800°C ধরিতে পারি। তাহার সংস্পর্শে থাকিয়া অ্যালুমিনিয়াম পাত্রের তলার উষ্ণতা মাত্র 101°C কি ভাবে হইতে পারে তাহার কারণ ভাবিয়া দেখ। নিচের পিঠে তাপ আসা মাত্র অ্যালুমিনিয়াম দিয়া উহা জলে চলিয়া যায়। পাত্র খালি থাকিলে তলা গলিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা।]

8-2.3. পরিবহণের ক্রিয়ার কয়েকটি উদাহরণ। (১) রোদে পাশাপাশি রাখা এক টুকরা লোহা ও এক টুকরা পাথর পালা করিয়া ছুঁইলে লোহা বেশী গরম মনে হইবে। অথচ উভয়ের উষ্ণতা সমান। লোহার তাপ পরিবাহিতা পাথরের চেয়ে বেশী হওয়াই ইহার কারণ। লোহা হইতে তাপ বেশী তাড়াতাড়ি আঙুলে চলিয়া আসিতে পারে বলিয়া উহা বেশী গরম মনে হয়। লোহা ও পাথর দুই-ই যদি বরফের উপর রাখা হয়, তবে লোহা বেশী ঠাণ্ডা মনে হয়, কারণ লোহার বেশী পরিবাহিতার জন্য দেহ হইতে তাপ লোহাতে বেশী তাড়াতাড়ি যায়। তরল বায়ুতে (উষ্ণতা প্রায় −180°C) ঠাণ্ডা করা ধাতুর টুকরা ছুঁইলে দেহ হইতে এত তাড়াতাড়ি তাপ ধাতুতে চলিয়া যায় যে স্পৃষ্টস্থান জমিয়া ধাতুর সঙ্গে আঁটিয়া যায়। ঐ অবস্থায়ই ছাড়াইয়া নিতে গেলে চামড়া ছিঁড়িয়া ধাতুর সঙ্গে লাগিয়া থাকে। ফল প্রায় আগুনে পোড়ার মত হয়।

চিত্র 8·4

(২) পশম ও সুতীর জামা। পশমের আঁশগুলি খসখসে ও আঁকা-বাঁকা। এজন্য পশমী কাপড়ে অসংখ্য বায়ুকোষ (air pockets) আটকাইয়া থাকিতে পারে। বায়ু অত্যন্ত কুপরিবাহী বলিয়া তাপ সহজে ইহার মধ্য দিয়া যাইতে পারে না। এই কারণে পশমী কাপড়ে গরম বোধ হয়, কারণ ইহা দেহ হইতে তাপক্ষয় খুব কমায়।

সুতার আঁশ সোজা ও মসৃণ বলিয়া সুতীর কাপড় বেশী বায়ুকোষ সৃষ্টি করিতে পারে না। এই কারণে সুতীর কাপড় ভেদ করিয়া তাপ সহজেই যাইতে পারে। সুতীর কাপড় গরম নয়।

একটি মোটা জামায় যতটা গরম বোধ হয়, দুইটি পাতলা জামায় তাহার চেয়ে বেশী গরম বোধ হইতে পারে। জামা দুইটির মাঝখানে যে বায়ুস্তর থাকে উহা তাপ চলাচলে বাধা দেয়।

(৩) কাগজের ঠোঙায় জল ফুটান যায়। যে উষ্ণতায় কাগজে আগুন ধরে তাহা ফুটন্ত জলের উষ্ণতার চেয়ে অনেক বেশী। এই কারণেই পাতলা কাগজের ঠোঙায় অল্প জল ফুটান যায়। কাগজের বাহিরের দিকে যে তাপ লাগে তাহা কাগজে পরিবাহিত হইয়া জলে যায় ও জল গরম করে। কাগজের উষ্ণতা জ্বলন বিন্দুতে উঠিবার আগেই জল ফুটিতে শুরু করে।

(৪) বুনসেন শিখায় পরিষ্কার তামার তারের জাল হঠাৎ চাপিয়া ধরিলে শিখা জালের নিচের অংশে আবদ্ধ থাকিবে (8·4 চিত্র)। তামা তাপ সুপরিবাহী বলিয়া উহা শিখার তাপ দ্রুত পরিবহণে সরাইয়া নেয়। ইহাতে শিখার গ্যাসের উপরের অংশ জ্বলন বিন্দুতে পৌঁছিতে পারে না। কিন্তু জাল নিজেই গ্যাসের জ্বলন বিন্দু পর্যন্ত উষ্ণ হইলে উপরের অংশও জ্বলিবে। তামার জাল বার্ণারের ইঞ্চিখানেক উপরে রাখিয়া দিয়াশলাই দিয়া কেবল জালের উপরের অংশে শিখা জ্বালান যায়। জালের পরিবাহিতার জন্য জ্বলন্ত শিখার তাপ নিচের গ্যাসকে জ্বলন বিন্দুতে নিয়া যাইতে পারে না (8·4চিত্র)।

(৫) অ্যাসবেসটস (asbestos) এক রকম আঁশওয়ালা অদাহ্য খনিজ। ভিতরে অসংখ্য বায়ুকোষের জন্য ইহার তাপ পরিবাহিতা কম। বয়লার (boiler), ষ্টীমবাহী নল (steam pipe) প্রভৃতি অ্যাসবেসটস সিমেণ্ট দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে তাপক্ষয় অনেক কমে।

(৬) যে সকল জায়গার জল খর (hard) সেখানে কেটলি, বয়লার প্রভৃতির নিচে শক্ত চকের (chalk) মত পদার্থ জমা হয়। ইহা তাপ কুপরিবাহী। এই চকের আস্তরণ দূর না করিলে জল গরম করিতে বা ফুটাইতে সময় বেশী লাগে ও বেশী ইন্ধন খরচ হয়।

(৭) ডেভির সেফটি ল্যাম্প (Davy's safety lamp)। 8.4 চিত্রে শিখার উপর তামার জালের যে ক্রিয়া দেখান হইয়াছে, বৈজ্ঞানিক স্যার হামফ্রে ডেভি কয়লা খনির শ্রমিকদের নিরাপদ ব্যবহারের জন্য ঐ ক্রিয়া কাজে লাগাইয়া এক রকম আলো উদ্ভাবন করেন। ইহাকে ডেভির 'সেফটি ল্যাম্প' বা 'নিরাপদ আলো' বলে।

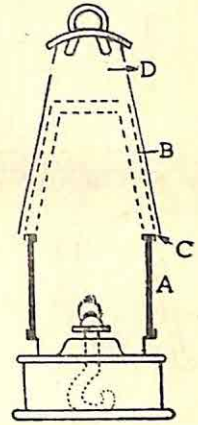
কয়লার খনিতে অনেক জায়গায়ই সহজ দাহ্য স্বাভাবিক গ্যাস থাকে। আলোর খোলা শিখার সংস্পর্শে আসিলে উহা জ্বলিয়া বিস্ফোরণ হয় ও দুর্ঘটনা ঘটায়। কাজেই খোলা শিখার আলো খনিগর্ভে ব্যবহার করা চলে না।

ডেভির সেফটি ল্যাম্প (8·5 চিত্র) তেলের বাতি। উহার শিখার উপরে সব দিক

ঘেরিয়া তামার তারের জাল (চিত্রের B) দেওয়া। আলো পাইবার স্থবিধার জন্ম শিখার চারদিকে কাচের চিমনি বসান (চিত্রের A)। C পথে আলো জ্বলিবার দরকারী বায়ু প্রবেশ করে, এবং দগ্ধ গ্যাস D পথে বাহির হইয়া যায়।

চিত্র 8·5

খনির দাহ্য গ্যাস শিখায় পৌছিলে জ্বলিয়া ওঠে এবং শিখা জালের ভিতরেই একটু অদ্ভূত ভাবে কাঁপিতে থাকে। কিন্তু শিখার আগুন জালের বাহিরে যাইতে পারে না; পরিবহণে জাল আগুনের তাপ এত তাড়াতাড়ি সরাইয়া নেয় যে বাহিরের বিস্ফোরক দাহ্য গ্যাস তাহার জ্বলন বিন্দুতে পৌছিতেই পারে না।

এখন কয়লা খনির শ্রমিকরা বিজলী বাতিতে কাজ করেন। কিন্তু দলের নেতা নিজের কাছে একটি সেফটি ল্যাম্প রাখেন। খনিতে বেশী পরিমাণ বিস্ফোরক গ্যাস থাকিলে সেফটি ল্যাম্পের শিখার রং নীল হয়, এবং উহাতে গ্যাসের অস্তিত্ব বোঝা যায়। (গ্যাসের উপস্থিতি বুঝিবার আরও সূক্ষ্মতর যন্ত্র তৈয়ারি হইয়াছে।)

(৮) তামার পরিবাহিতার জন্ম রান্নার বাসন এবং ছোট বয়লার তৈয়ারির কাজে তামা ব্যবহার খুব স্থবিধার। কিন্তু ইহার দাম বেশী।

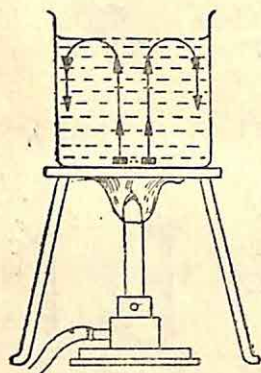
অ্যালুমিনিয়াম লোহার চেয়ে হালকা এবং উহার তাপ পরিবাহিতা বেশী বলিয়া ইঞ্জিনের সিলিণ্ডার এবং পিস্টনের মাথা (piston head) অ্যালুমিনিয়ামে তৈয়ারি করা স্থবিধার।

(৯) বরফ রাখিবার বাক্সে এবং রেফ্রিজারেটরে ডবল দেওয়াল (double wall) থাকে। তুই দেওয়ালের মাঝখান কাঠের বা কর্কের গুঁড়া, বা ফেল্ট প্রভৃতি কুপরিবাহী পদার্থে ভরিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে দেওয়াল ভেদ করিয়া তাপ সহজে ভিতরে ঢুকিতে পারে না। কাঠের গুঁড়ায় ঢাকিয়া রাখিলে বরফ গলিতে অনেক দেরী হয়। গুঁড়া গুলির ফাঁকে ফাঁকে অজস্র বায়ুকোষ গঠিত হয় বলিয়া তাপ ভিতরে ঢুকিতে প্রচুর বাধা পায়। বায়ুর পরিবাহিতা খুব কম, একথা আগেই বলা হইয়াছে।

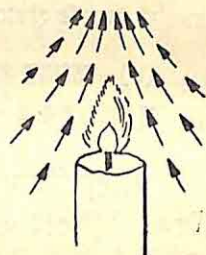
(১০) যে সকল পদার্থ তাপ খুব কম পরিবহণ করে তাহাদের মধ্যে তুলা, অ্যাসবেসটস উল (asbestos wool), কর্কের গুঁড়া, ফেল্ট, সেলুলার কাচ (cellular glass; অজস্র কোষবিশিষ্ট কাচ) অন্যতম। ইহাদের দেহস্থ অসংখ্য বায়ুকোষই ইহাদের কুপরিবাহিতার কারণ। 7-2.2 বিভাগের সারণি হইতে দেখিবে ফেল্টের পরিবাহিতা বায়ুর মাত্র দেড়গুণ। ফেল্টের বায়ুকোষের জন্মই উহার পরিবাহিতা এত কম।

8-3. পরিচলন (Convection)। তরল ও গ্যাসীয় পদার্থেই পরিচলন সম্ভব; কঠিন পদার্থে নয়। তরল বা গ্যাস উষ্ণ করিলে হালকা হইয়া উপরে ওঠে,

এবং উহার ত্যক্ত স্থানে ঠাণ্ডা তরল বা গ্যাস পাশ হইতে আসে। ইহাতে তরলে বা গ্যাসে যে প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাহাকে **পরিচলন প্রবাহ (Convection current)** বলে। ঊর্ধ্বমুখী প্রবাহ সঙ্গে তাপ লইয়া যায়। তাপ সঞ্চালনের এই প্রক্রিয়াকে **পরিচলন** বলে। পরিবহণে মাধ্যম স্থানচ্যুত হয় না, কিন্তু পরিচলনে হয়।

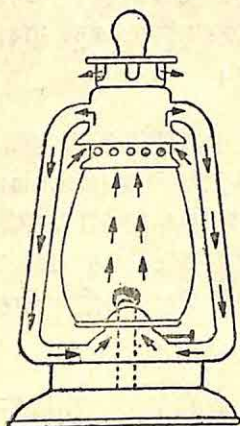
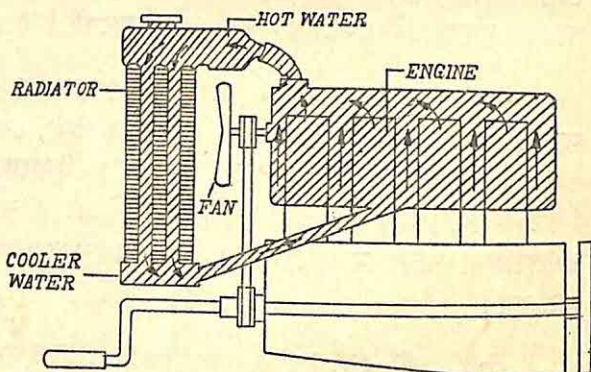
চিত্র 8·6

পরিচলনের কয়েকটি উদাহরণ। (১) কাচের পাত্রে জল বুনসেন শিখার উপর বসাইয়া জলে পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের একটু বড় একটি দানা ফেলিয়া দাও। দেখিবে দানা হইতে রঙীন জলস্রোত উপরে উঠিয়া আবার পাশ দিয়া নামিয়া আসিতেছে (8·6 চিত্র)। ইহাতে বোঝা যায় জলের কণাগুলি তাপ লইয়া নিচ হইতে উপরে ওঠে। শীতলতর কণা উপর হইতে নিচে আসিয়া উষ্ণ হইয়া আবার উপরে ওঠে। পরিচলন প্রবাহে সমস্ত জল গরম হইতে থাকে।

(২) মোমবাতি জ্বলার সময় উহার শিখার চারদিকে নিচ হইতে উপরে বায়ুর পরিচলন প্রবাহ বহে (8·7 চিত্র)। শিখার সংস্পর্শে বায়ু উষ্ণ হইয়া উপরে ওঠে, এবং আশ পাশ হইতে ঠাণ্ডা বায়ু তাহার জায়গা নেয়। শিখা এইভাবে তাহার দহনের জন্য প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের সরবরাহ পাইতে থাকে।

চিত্র 8·7

(৩) হারিকেন লণ্ঠনে শিখা কিভাবে অক্সিজেন পাইতে থাকে ও উহার পরিচলন প্রবাহ কি রকম তাহা 8·8 চিত্রে দেখান হইয়াছে। দগ্ধ গ্যাস উপর দিয়া বাহির হইয়া যায়।

(৪) মোটর গাড়ীর ইঞ্জিন জলের পরিচলন প্রবাহে ঠাণ্ডা থাকে। ইহার ব্যবস্থা

চিত্র 8·8

চিত্র 8·9

8.9 চিত্রে দেখান হইয়াছে। ইঞ্জিন ঘেরিয়া নলে জল প্রবাহিত হয়। ইঞ্জিন হইতে তাপ পাইয়া জল উষ্ণ হইয়া সম্মুখের ট্যাংকের (tank) উপরের দিকে যায়। সেখান হইতে ইঞ্জিন চালিত বায়ুতে ঠাণ্ডা হইয়া সরু নল দিয়া উহা আবার ইঞ্জিনের দিকে যায়।

(৫) চিমনি দিয়া যদি জ্বলন্ত মোমবাতি এমন ভাবে ঘেরা যায় যাহাতে বাতি অক্সিজেন পাইতে না পারে (8.10 চিত্র) তাহা হইলে বাতি অচিরেই নিভিয়া যায়। কিন্তু T আকারের একখণ্ড পাত চিমনির উপরে রাখিলে (৪·10 চিত্র দেখ) বাতি জ্বলিতে থাকে। পাতখানা থাকায় উহার একপাশ দিয়া বায়ু আসিয়া শিখাকে অক্সিজেন জোগাইতে পারে। পাতের অন্য পাশ দিয়া উষ্ণ দগ্ধ গ্যাস ও বায়ু বাহির হইয়া যায়। পাত থাকায় পরিচলন প্রবাহ সম্ভব হয় ও বাতি জ্বলে।

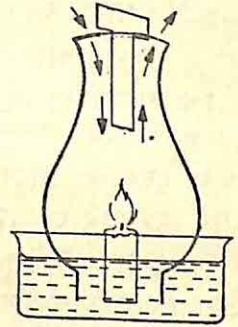
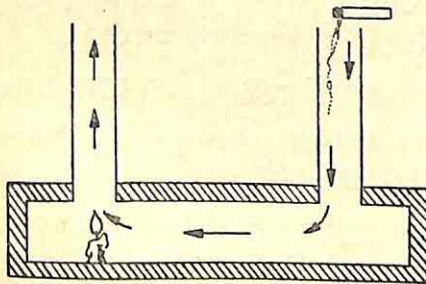
চিত্র ৪·10

(৬) সামুদ্রিক স্রোত (Ocean currents) সাধারণত পরিচলন প্রবাহ। সূর্যের তাপ বিস্তীর্ণ অঞ্চলে অসমান-ভাবে পড়ে। ইহাতে জল অসমান উষ্ণ হওয়ায় পরিচলন প্রবাহের সৃষ্টি হয়। বায়ুস্রোতের কারণও একই।

(৭) স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু (Land breeze and Sea breeze)। মাটি ও পাথরের আপেক্ষিক তাপ জলের চেয়ে কম। সূর্যের কিরণে যখন সমুদ্রের জল ও উহার তীরবর্তী স্থল উষ্ণ হয়, তখন স্থলভাগ জলের চেয়ে তাড়াতাড়ি গরম হয়। স্থলভাগের উপরের বায়ুও গরম মাটির স্পর্শে জলের উপরের বায়ুর চেয়ে বেশী গরম হয়। এই উষ্ণবায়ু উপরে ওঠে ও সমুদ্র হইতে ঠাণ্ডা বায়ু আসিয়া তাহার স্থান অধিকার করে। এই ভাবে দিনের বেলা সমুদ্র হইতে স্থলের দিকে ঠাণ্ডা বায়ু প্রবাহিত হয়। ইহাকে সমুদ্রবায়ু বলে।

সূর্য অস্ত গেলে স্থল ও জল উভয়েই শীতল হয়; কিন্তু স্থলের আপেক্ষিক তাপ কম বলিয়া উহা জলের চেয়ে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়। ইহাতে জলভাগের উপরের বায়ু স্থলভাগের উপরের বায়ুর চেয়ে গরম থাকায় উহা উপরে ওঠে, ও স্থল হইতে সমুদ্রের দিকে বায়ু প্রবাহিত হয়। ইহাকে স্থলবায়ু বলে।

(৮) বায়ুচলন (Ventilation)। সাধারণত, দমকা বাতাস না ঘটাইয়া অবিশুদ্ধ বায়ু সরাইয়া সেখানে বিশুদ্ধ বায়ু আনাকে 'বায়ুচলন' (ventilation) বলে। বায়ুচলন পরিচলন বায়ুপ্রবাহে ঘটান হয়। ইহার তত্ত্ব ৪·11 চিত্রে বুঝান হইয়াছে। একটি কাঠের বাক্সের পাশের দিকে কাচ ও উপরে ছুটি কাচের চিমনি লাগান। একটি চিমনির ঠিক নিচে এক-খণ্ড জ্বলন্ত মোমবাতি রাখিলে শিখায় উষ্ণ হওয়া বায়ু চিমনি দিয়া উপরে উঠিয়া

চিত্র 8·11

যায় এবং অন্য চিমনি দিয়া বায়ু আসিয়া স্থানচ্যুত বায়ুর জায়গা অধিকার করে। দ্বিতীয় চিমনির মুখে একটি জলন্ত সিগারেট রাখিলে দেখা যাইবে উহার ধোঁয়া কোন্ পথে আসিয়া কোন্ দিকে যাইতেছে। ইহাই পরিচলন বায়ুপ্রবাহের পথ নির্দেশ করে।

আগেকার দিনে কয়লার খনিতে বায়ুচলন এইভাবে ঘটান হইত। বিভিন্ন স্থানে উপর হইতে খনি পর্যন্ত দুটি গভীর গর্ত করিয়া একটির নিচে আগুন জ্বালান হইত। অন্যটি দিয়া বাহিরের বিশুদ্ধ বায়ু খনিতে বিভিন্ন পথে প্রবাহিত হইয়া প্রথমটি দিয়া বাহির হইয়া যাইত। এখন বৈদ্যুতিক পাখায় এক গর্ত দিয়া ঊর্ধ্বমুখী বায়ুস্রোত পাঠান হয়।

বাসঘরে শ্বাসে নির্গত বায়ু সাধারণত ঘরের বায়ুর চেয়ে গরম। ইহা উপরে ওঠে ও জানালা বা বায়ুরন্ধ্র (ventilator) দিয়া বাহির হইয়া যায়। অনেক জানালার কেবল উপরাংশ খুলিয়া রাখা যায়। এরূপ করার উদ্দেশ্য বায়ুচলন ঘটিতে পথ দেওয়া। খোলা দরজা বা জানালার উপরের দিক দিয়া গরম বায়ু বাহির হয় ও নিচ দিয়া বাহির হইতে ঠাণ্ডা বায়ু ঢোকে।

৪-4. বিকিরণ (Radiation)। বিকিরণে এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপ কোন বাস্তব মাধ্যমের সাহায্য ছাড়াই যায়। পৃথিবী হইতে সূর্য পর্যন্ত নয় কোটি ত্রিশ লক্ষ মাইলের বিরাট দূরত্ব ব্যাপিয়া কোন বাস্তব মাধ্যম নাই। [এই অংশে গড়ে প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে মাত্র দু'চারটি অণু আছে; ইহা কার্যত আদর্শ শূন্যস্থান (ideal vacuum)।] অতএব সূর্য হইতে পৃথিবীতে যে তাপ আসে তাহা পরিবহণেও নয় পরিচলনেও নয়। এই তাপ আসে বিকিরণে। ভূপৃষ্ঠে পৌঁছিতে সূর্যের তাপ বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া আসে; কিন্তু তাহাতে বায়ু উষ্ণ হয় না। ম্যাক্সওয়েলের মতে "দুই বস্তুর মধ্যবর্তী মাধ্যমকে উষ্ণ না করিয়া উষ্ণতর বস্তু হইতে শীতলতর বস্তুতে তাপ সঞ্চালনকে বিকিরণ বলে"।

যে রূপ ধরিয়া তাপশক্তি বিকিরণ প্রক্রিয়ায় এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে যায় তাহাকে **বিকীর্ণ তাপ (Radiant heat বা Heat radiation)** বা কখন কখন শুধু 'বিকিরণ'ই বলা হয়। অতএব স্থানবিশেষে 'বিকিরণ' কথাটি তাপ সঞ্চালনের একটি উপায় বা ঐ উপায়ে সঞ্চালিত শক্তিকেও বুঝাইতে পারে। অনেক দিন হইতেই বিজ্ঞানী জানিয়াছেন বিকীর্ণ তাপ বা বিকিরণ ও আলোক (Light) একই জাতীয় শক্তি; প্রভেদ শুধু বিকিরণের চোখে সাড়া জাগাইবার অক্ষমতা।

৪-4.1. বিকিরণ দৃশ্য আলোর সকল নিয়মই মানিয়া চলে (Heat radiation obeys the same laws as light)। বিকীর্ণ তাপ ও আলোর আচরণের সাদৃশ্য হইতেই বোঝা যাইবে উভয়ে একই প্রকৃতির শক্তি। নিচে সাদৃশ্যগুলি বলা হইল।

(১) শূন্যস্থান দিয়া বিকীর্ণ তাপ ও আলো একই বেগে চলে। সূর্য গ্রহণের সময় সূর্যের আলো ও তাপ এক সঙ্গেই বন্ধ হয়। গ্রহণ শেষ হইলে উভয়ে এক

সঙ্গেই দেখা দেয়। ইহা হইতে স্পষ্টই বোঝা যায় আলো ও তাপ সূর্য হইতে পৃথিবী পর্যন্ত বিরাট দূরত্ব সমান বেগেই অতিক্রম করে।

(২) আলোর মত তাপও সরল রেখায় চলে। সূর্যের আলোয় কোন অনচ্ছ বস্তু ধরিলে উহার ছায়া পড়ে। ছায়া অঞ্চলে সূর্যের তাপ লাগে না। আলো সরল রেখায় চলে বলিয়াই ছায়া গঠিত হয়। ছায়াতে বিকীর্ণ তাপ বোধ হয় না; অতএব বিকীর্ণ তাপও সরল রেখায় চলে।

(৩) বিন্দু দীপকের আলোর তীব্রতা (intensity) দূরত্বের বর্গের বিষমানুপাতে কমে। বিকীর্ণ তাপের ক্ষেত্রেও তাহাই হয়।

(৪) পালিশ করা ধাতুপৃষ্ঠ হইতে বিকীর্ণ তাপ প্রতিফলিত হয়। তাপের প্রতিফলনের সূত্র ও আলোর প্রতিফলনের সূত্র একই।

(৫) লেন্‌স্ অথবা অবতল আয়নার সাহায্যে আলো যেমন কেন্দ্রীভূত করা যায়, বিকীর্ণ তাপকেও সেরূপ ফোকাসে আনা যায়। (লেন্সের সাহায্যে সূর্যের আলো কেন্দ্রীভূত করিয়া তোমাদের কেহ কেহ কাগজ জ্বালাইয়া থাকিবে। আলো ও তাপ প্রায় এক স্থানেই কেন্দ্রীভূত হয়।)

[এখন ঠিক বুঝিতে না পারিলেও শুনিয়া রাখিতে পার আলো এবং বিকীর্ণ তাপ উভয়েই 'বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ' (Electromagnetic waves)। আলোর চেয়ে বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (Wavelength) বেশী। দুই-এ মৌলিক আর কোন প্রভেদ নাই।]

8-4.2. বিকীর্ণ তাপের শোষণ ও উৎসারণ (Absorption and emission of radiation)। কোন বস্তু হইতে বিকিরণে তাপক্ষয় নিচের বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে:

(ক) বস্তুর ও উহার আশপাশের উষ্ণতা। (উষ্ণতার প্রভেদ কম হইলে তাপক্ষয়ের হার উষ্ণতার প্রভেদের মোটামুটি সমানুপাতিক।)

(খ) বস্তুটির বাহিরের পৃষ্ঠের প্রকৃতি ও ক্ষেত্রফল।

(গ) যত সময় ব্যাপিয়া বিকিরণ হয়।

বিকীর্ণ তাপ পদার্থের উপর পড়িলে উহার এক অংশ শোষিত (absorbed), এক অংশ প্রতিফলিত এবং এক অংশ পারগত (transmitted) হইতে পারে। আপতিত বিকিরণের a ভগ্নাংশ শোষিত, r ভগ্নাংশ প্রতিফলিত ও t ভগ্নাংশ পারগত হইলে অবশ্যই

$$a+r+t=1 \qquad (8\text{-}4.1)$$

হইবে। ভুসা কালির (lamp black-এর) তাপ শোষণ ক্ষমতা খুব বেশী; উহার a প্রায় 0·98। অতএব উহার r, অর্থাৎ প্রতিফলন ক্ষমতা 0·02-এর বেশী হইতে পারে না। 8-4.1 সমীকরণ হইতে দেখা যায় শোষণ বেশী হইলে প্রতিফলন কম হইবে এবং প্রতিফলন বেশী হইলে শোষণ কম হইবে, অর্থাৎ **ভাল তাপশোষক দুর্বল প্রতিফলক** (A good absorber is a poor reflector), এবং ভাল

প্রতিফলক দুর্বল শোষক (A good reflector is a poor absorber)। শোষিত তাপ শোষকের উষ্ণতা বাড়ায়। পারগমন (transmission) বেশী হইলে শোষণ বা প্রতিফলন বেশী হয় না। কাচ ইহার উদাহরণ।

পরীক্ষায় (এবং গণিত প্রয়োগেও) দেখা গিয়াছে **ভাল তাপশোষক ভাল বিকিরক (বা তাপ-উৎসারক)-ও বটে (Good absorbers of radiation are also good emitters)**। কালোর শোষণ বেশী, সাদার কম। অতএব কালো রঙের বস্তু ভাল বিকিরক, সাদা বস্তুর বিকিরণ কম। সাদার প্রতিফলন বেশী। এই কারণে গরমের দিনে সাদা জামা কাপড় পরা ভাল। মসৃণ তলের চেয়ে অমসৃণ তলের ক্ষেত্রফল বেশী বলিয়া অমসৃণ তল শোষণ বা উৎসারণ বেশী করে। ক্যালরিমিটারের পিঠ পালিশ করা থাকিলে উহা হইতে তাপ বিকিরণ কম হইবে।

মেঘ ও বিকীর্ণ তাপ। জলকণা যথেষ্ট পরিমাণে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিতে পারে। এই কারণে গ্রীষ্মকালে মেঘলা দিনগুলি অনেকটা ঠাণ্ডা থাকে। মেঘ তাপ আবরণ করে; মেঘ যেন তাপ আড়াল করিবার পর্দা। রাত্রে আকাশে মেঘ থাকিলে পৃথিবী হইতে বিকিরণে তাপক্ষয় অনেক কম হয়। এজন্য শীতের রাত মেঘলা হইলে সে রাত্রে শীত কম থাকে।

কাচের ঘর (Green house)। বেশী তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বিকীর্ণ তাপ কাচে বেশী শোষিত হয়; হ্রস্ব তাপতরঙ্গগুলি কাচ ভেদ করিয়া চলিয়া যায়। দিনে গাছপালা দীর্ঘ তাপতরঙ্গ বিকিরণ করে। কাচের ঘরে গাছপালা রাখিলে কাচ এই তরঙ্গ শোষণ করে এবং রাত্রে বিকিরণে এই তরঙ্গ ছাড়িয়া কাচের ঘর গরম রাখে। কাচের ঘরে গাছপালা রাত্রে উষ্ণ থাকে বেশী।

8-5. স্টিফ্যানের বিকিরণ সূত্র (Stefan's law of radiation)। প্রত্যেক বস্তুই উষ্ণতার জন্য নিজ দেহ হইতে তাপ বিকিরণ করে। ইহাকে 'তাপীয় বিকিরণ' (Thermal radiation) বলে। উষ্ণতা বেশী হইলে বিকিরণ বেশী হয়। তা ছাড়া বিকিরণের হার বস্তুটির পৃষ্ঠের প্রকৃতি ও ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।

বিকিরণে কোন বস্তু তাহার আশপাশ হইতে কত তাপ পায় তাহা লইয়া প্রথম পরীক্ষা করেন টিণ্ডাল (Tyndall)। এই পরীক্ষার ভিত্তিতে বিজ্ঞানী **স্টিফ্যান (1879) সিদ্ধান্ত করেন বিকীর্ণ তাপ বস্তুটি ও তাহার আশপাশের নিরপেক্ষ উষ্ণতার চতুর্থ ঘাতের প্রভেদের সমানুপাতিক। ইহাই স্টিফ্যানের বিকিরণ সূত্র।** তা ছাড়া, স্টিফ্যান দেখান উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে তাপীয় বিকিরণ অতিদ্রুত বাড়ে। পরে বোল্‌ৎস্‌মান (Boltzmann) তত্ত্বীয় উপায়ে এই পরীক্ষালব্ধ ফল প্রতিষ্ঠা করেন। কোন বস্তুর প্রতি cm^2 তল হইতে প্রতি সেকেণ্ডে তাপীয় বিকিরণ উহার উষ্ণতার উপর কি ভাবে নির্ভর করে তাহা বস্তুর পৃষ্ঠের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে বলিয়া একটি আদর্শ বস্তু নিয়া ইহা গণনা করিতে হইয়াছিল। এই বস্তুর পৃষ্ঠ এমন যে একই উষ্ণতায় অন্য কোন প্রকার পৃষ্ঠের বিকিরণ শক্তি ইহার চেয়ে বেশী হইতে পারে না, অর্থাৎ এ জাতীয় পৃষ্ঠের

বিকিরণ শক্তি চরম (maximum)। ভাল শোষক ভাল বিকিরক বলিয়া ইহার শোষণ শক্তিও চরম। এরূপ পৃষ্ঠ বিশিষ্ট বস্তুকে 'আদর্শ কৃষ্ণবস্তু' (Ideal black-body) বলে। আদর্শ কৃষ্ণবস্তু (বা কৃষ্ণিকা*)-র সংজ্ঞায় বলা হয় যে বস্তু নিজের উপর আপতিত যে কোন দৈর্ঘ্যের তাপীয় বিকিরণ সম্পূর্ণ রূপে শোষণ করে এবং একটুও প্রতিফলিত বা পারগত (transmitted) হইতে দেয় না তাহাই 'আদর্শ কৃষ্ণবস্তু' (বা 'কৃষ্ণিকা')। (ভুসা, প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাক, প্রভৃতি আপতিত বিকিরণের প্রায় 98% শোষণ করে।) আদর্শ কৃষ্ণবস্তু ভিতরে ভুসা মাখান এবং একটি ছিদ্র বিশিষ্ট ফাঁপা গোলক বা বেলন। ইহার ভিতরে যে বিকিরণ ঢোকে তাহা বার বার প্রতিফলনে ভিতরেই কার্যত সম্পূর্ণ শোষিত হয়। তপ্ত করিলে ঐ ছিদ্র দিয়া যে বিকিরণ বাহির হইয়া আসে তাহাই 'কৃষ্ণিকা বিকিরণ' (Black body radiation)।

স্টিফ্যানের বিকিরণ সূত্র অন্যভাবেও প্রকাশ করা যায়। বলা যায় **আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু হইতে তাপীয় বিকিরণের হার উহার নিরপেক্ষ উষ্ণতা T-র চতুর্থ ঘাতের (অর্থাৎ T^4-এর) আনুপাতিক।** গণিতের ভাষায় বলা হয় আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুর প্রতি একক তল হইতে প্রতি সেকেণ্ডে নির্গত বিকিরণের মান E হইলে $E=\sigma T^4$। σ রাশিটিকে স্টিফ্যান-বোল্‌ৎস্‌মান ধ্রুবাংক (Stefan-Boltzmann constant) বা কখন স্টিফ্যানের ধ্রুবাংক (Stefan's constant)-ও বলে। E-কে বলে 'বিকিরণ ক্ষমতা' (Emissive power)। $\sigma = 5{\cdot}672 \times 10^{-5}$ erg/cm^2.s.deg^4।

বিকীর্ণ শক্তি বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি হইতে আসে। উহাকে 'তাপ' বলা ঠিক নয়। উষ্ণতার প্রভেদ থাকিলে প্রত্যেক বস্তুই কিছু শক্তি বিকীর্ণ করে ও কিছু বিকীর্ণ শক্তি অন্য বস্তু হইতে পায়। **কোন বস্তু হইতে বিকিরিত ও উহাতে শোষিত বিকিরণের প্রভেদই হইল তাপ।**

T°K উষ্ণতার কোন কৃষ্ণ বস্তু T'°K উষ্ণতার কোন কৃষ্ণ বস্তু দিয়া ঘেরা থাকিলে এবং প্রথমটির মোট ক্ষেত্রফল S হইলে, T' যদি T-র চেয়ে বড় হয়, তবে প্রথম বস্তুটি দ্বিতীয়টি হইতে প্রতি সেকেণ্ডে $Q = S\sigma\ (T'^4 - T^4)$ পরিমাণ তাপ পাইবে। বস্তুগুলি কৃষ্ণ না হইলে Q-র মান বস্তু দুইটির পৃষ্ঠের প্রকৃতি বুঝিয়া $S\sigma\ (T'^4 - T^4)$-এর চেয়ে কম হইবে।

স্টিফ্যান সূত্রের সাহায্যে যে কোন চুল্লী বা ভাস্বর বস্তুর উষ্ণতা, সূর্যের উষ্ণতা, প্রভৃতি মাপা যায়। বস্তুটি আদর্শ কৃষ্ণবস্তু না হইলে স্টিফ্যান সূত্র প্রয়োগে উষ্ণতার যে মান পাওয়া যায়, তাহা বস্তুটির আসল উষ্ণতার অবম মান। আসল মান বস্তুটির পৃষ্ঠের বিকিরণ ক্ষমতার উপর নির্ভর করে। কেবল কৃষ্ণিকা হইলেই আসল মান ও স্টিফ্যান সূত্র প্রয়োগে পাওয়া মান একই হয়।

* ভারত সরকারের 'বিজ্ঞান শব্দাবলী'-তে Black body-র পরিভাষা দেওয়া হইয়াছে 'কৃষ্ণিকা'।

অনুশীলনী

1. উদাহরণের সাহায্যে তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন উপায়গুলি বর্ণনা কর। উহাদের মধ্যে মৌলিক প্রভেদ কি তাহা বুঝাইয়া বল।

2. বিভিন্ন পদার্থের তাপ পরিবাহিতা বিভিন্ন তাহা পরীক্ষার সাহায্যে কি ভাবে দেখাইতে পার? (ক) সুপরিবাহী ও (খ) কুপরিবাহী পদার্থের কার্যকর প্রয়োগের একটি করিয়া উদাহরণ দাও, এবং ঐ প্রয়োগে পরিবাহিতা বেশী বা কম করার দরকার কেন হইল বুঝাইয়া বল।

3. ডেভির সেফটি ল্যাম্পের একটি চিত্র আঁক। শিখার চারদিকে যে তারের জাল দেওয়া হয় তাহার ক্রিয়া বুঝাইয়া বল।

4. পরিচলন প্রবাহ কাজে লাগান হইয়াছে এমন তিনটি উদাহরণ দাও। পরিবহণ ও পরিচলনের প্রভেদ বুঝাইয়া বল।

5. ঠিক একই রকম দুইটি জলপাত্রের পিঠ একটির কালো, অন্যটির সাদা এবং পালিশ করা। কোন্ পাত্রের জল বেশী তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হইবে? কেন?

6. মেঘ থাকিলে ভূপৃষ্ঠ হইতে বিকিরিত তাপ কম হয় কেন? রাত্রে মেঘ থাকিলে কুয়াশা সৃষ্টির উপর উহার কি ক্রিয়া হয়?

7. (ক) শীতের রাত্রে ঘুমাইবার সময় কাঠবিড়াল তাহার লেজ গায় জড়াইয়া রাখে কেন?

(খ) শীতের রাতে পাখিগুলি দেহের পালক ফুলাইয়া রাখে কেন?

(গ) ডিমে তা দিতে মুরগী বুকের পালক খসাইয়া ফেলে কেন?

(ঘ) খড়ের চালের ঘর গ্রীষ্মে ঠাণ্ডা এবং শীতে গরম থাকে কেন?

(ঙ) একটি সুবেদী থার্মমিটারের বাল্ব জলের অল্প নিচে রাখিয়া জল উপর হইতে গরম করিলে থার্মমিটারে সামান্যই উষ্ণতা বৃদ্ধি দেখা যায়। কিন্তু জল নিচ হইতে গরম করিলে থার্মমিটারের উষ্ণতা তাড়াতাড়ি বাড়ে। ইহা ব্যাখ্যা কর।

(চ) গ্যাসভরা ইলেকট্রিক বাল্ব আর নির্বাত ইলেকট্রিক বাল্ব জ্বালাইলে প্রথমটি বেশী গরম হয় কেন?

8. ক্যালরিমিটার ও তাহার আশপাশের মধ্যে তাপ সঞ্চালন কমাইতে ক্যালরিমিটারকে একটি আধারের মধ্যে সুতায় ঝুলাইয়া রাখা হয় বা কর্কের তিনটি সরু মাথার উপর বসান হয়। তা ছাড়া ক্যালরিমিটারের পিঠে রূপার প্রলেপ দিয়া পালিশ করা হয়।

এই সব করায় তাপ সঞ্চালন কমে কেন বুঝাইয়া বল।

9. (ক) থার্মমিটার রোদে রাখিলে পারা যতখানি ওঠে, বাল্বে ভুসার কালি মাখাইয়া থার্মমিটার রোদে রাখিলে পারা তাহার চেয়ে বেশী ওঠে কেন?

(খ) বুনসেন শিখার উপর তামার জাল চাপিয়া ধরিলে জালের উপরের অংশে শিখা থাকে না কেন?

10. (ক) থার্মফ্লাস্কের দুই দেওয়ালের মুখামুখি পিঠ আয়নার মত করা হয় কেন?

(খ) দুই দেওয়ালের মধ্যের অংশ বায়ুশূন্য করা হয় কেন?

(গ) ফ্লাস্কের মুখে কর্কের ছিপি থাকায় সুবিধা কি?

11. কোন বয়লারের ধাতুপাত 1·5 cm মোটা। প্রতি ঘণ্টায় বয়লারের প্রতি $1\ m^2$ পরিমিত তল হইতে 32 kg জল বাষ্পিত হইলে ধাতুপাতের দুই পিঠে উষ্ণতার প্রভেদ কত? (স্টীমের লীনতাপ 540 cal/g; ধাতুপাতের তাপ পরিবাহিতা 0·15 সিজিএস্ একক।) [উঃ 4·8 C°]

12. কাচের তাপ পরিবাহিতা 0·002 সিজিএস্ একক বলিতে কি বুঝায়? বিভিন্ন ধাতুর পরিবাহিতা তুলনা করার কোন পরীক্ষা বর্ণনা কর।

2 mm মোটা ও 1 m^2 ক্ষেত্রফলের কাচের একখানা জানালার ভিতরের পিঠের উষ্ণতা 15°C ও বাহিরের পিঠের উষ্ণতা −5°C। কাচের মধ্য দিয়া পরিবহণে ঘর হইতে প্রতি ঘণ্টায় কতটা তাপ বাহির হয়? [সংকেত—সব রাশিগুলি সিজিএস্ এককে আনিয়া লও। [উঃ $7{\cdot}2 \times 10^8$ cal]

13. 'বিকীর্ণ তাপ অদৃশ্য আলো' এই উক্তির সমর্থনে কি প্রমাণ দিতে পার?

0·9 সিজিএস্ একক তাপ পরিবাহিতার কোন ধাতুদণ্ড 31·4 cm লম্বা এবং উহার ব্যাস 4 cm। উহার একপ্রান্ত 100°C উষ্ণতার স্টীমের সংস্পর্শে ও অন্য প্রান্ত 0°C উষ্ণতার এক চাপ বরফের সংস্পর্শে আছে। প্রতি মিনিটে কতটা বরফ গলিবে? [উঃ 27 g]

14. স্টিফ্যানের সূত্র বলিতে কি বোঝ? উহার কোন প্রয়োগ উল্লেখ কর। এইভাবে নির্ণীত উষ্ণতা বস্তুটির আসল উষ্ণতা কিনা আলোচনা কর।

15. তাপীয় বিকিরণই তাপ, না বিকিরিত ও শোষিত বিকীর্ণ শক্তির প্রভেদই তাপ, তাহা বুঝাইয়া বল।

৯ ‖ গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব (Kinetic theory of gases)

9-1. পদার্থের আণবিক গঠনের ও অণুর এলোমেলো গতির প্রমাণ (Evidence of molecular structure of matter and of random molecular motion)।

বিজ্ঞানে সকল মতবাদের প্রত্যক্ষ প্রমাণ পাওয়া যায় না (নিউটনের গতীয় প্রথম সূত্রের কথা মনে কর)। কিন্তু ঐ মতানুসারে যাহা ঘটা উচিত বা সম্ভব তাহা ঘটিতে এবং অন্যথা না হইতে দেখিলে, ইহাকেই মতের সত্যতার প্রমাণ মনে করা হয়। এ রকম প্রমাণ প্রত্যক্ষ না হইয়া গৌণ হইলেও বিজ্ঞানে ইহা গ্রাহ্য।

পদার্থের আণবিক গঠনের প্রমাণ। অন্তত তিন হাজার বছর আগেই ভারতীয় ও গ্রীক দার্শনিকদের অনেকে মনে করিতেন পদার্থ গঠনে অবিচ্ছিন্ন নয়; উহা কণায় গঠিত। এই দার্শনিক মতের পিছনে কোন পরীক্ষামূলক প্রমাণ ছিল না। অষ্টাদশ শতাব্দীতে ড্যালটন (Dalton) পদার্থের কণাবাদের সাহায্যে রাসায়নিক মিলনের দুইটি সূত্রের সুষ্ঠু ব্যাখ্যা দেন। গৌণ হইলেও পদার্থের কণাবাদের ইহাই প্রথম পরীক্ষামূলক ভিত্তি। মৌলের মূলকণাকে তিনি 'অ্যাটম' (পরমাণু) নাম দেন। বিভিন্ন মৌলের নির্দিষ্ট সংখ্যক অ্যাটমের রাসায়নিক সংযোগে বিভিন্ন পদার্থের অণু গঠিত হয়। ড্যালটনের কণাবাদের ভিত্তিতে রাসায়নিক সংযোগে অণুগঠনের যে সকল সম্ভাবনার কথা বলা হয় সেগুলি পরবর্তী কালে সমর্থিত হয়। রসায়নের মাধ্যমে পদার্থের আণবিক গঠনের ইহা গৌণ, কিন্তু গ্রাহ্য প্রমাণ।

ক্রমশ আমরা জানিয়াছি সাধারণ পদার্থের অণু আকারে এত ছোট (ব্যাস মোটামুটি 10^{-7} cm ক্রমের) যে খালি চোখে তাহাদেব দেখিতে পাইবার কোন সম্ভাবনাই নাই। লেন্সে তৈয়ারী শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপ ছোট জিনিসকে প্রায় দু হাজার গুণের বেশী বড় করিয়া দেখাইতে পারে না। এ রকম মাইক্রোস্কোপ দিয়াও অণু দেখা সম্ভব নয়। ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ (Electron microscope) নামে সম্পূর্ণ অন্য এক ধরনের মাইক্রোস্কোপে উপযুক্ত ব্যবস্থায় পদার্থের খুব ছোট কোন অংশের লক্ষাধিক (10^5) গুণ বিবর্ধিত ছবি তোলা যায়। এরূপ ছবিতে পদার্থের গঠন দানাদার (granular) ইহা বোঝা যায়। ইহা ছাড়া, ফিল্ড এমিশন মাইক্রোস্কোপ (Field emission microscope) নামে আর একরকম যন্ত্র আছে যাহার সাহায্যে কোন ধাতুর খুব ছুঁচাল মাথার ছবি পাওয়া যায়। তাহাতেও দেখা যায় ছুঁচের মাথার গঠন দানাদার। কোন ক্ষেত্রেই দানাগুলি এক একটি অণু নয়; উহারা কয়েকটি করিয়া অণুর গুচ্ছ। পদার্থের আণবিক গঠনের **প্রত্যক্ষ প্রমাণ** এ পর্যন্ত ইহার চেয়ে আরও স্পষ্ট করা যায় নাই।

তবে **গৌণ প্রমাণ** অনেক আছে। খুব পাতলা ধাতুপাতের উপর আলফা কণা আপতিত হইতে দিলে দেখা যায় কিছু কণা বেশ খানিকটা বাঁকিয়া পাত হইতে বাহির হয়। ধাতুপাত অণুতে গঠিত এবং অণুর পজিটিভ আধান অল্প পরিসরে সংহত থাকিলেই এরূপ হইতে পারে। অন্য অনেক গৌণ প্রমাণ আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞানে (Modern Physics-এ) পাইবে। তেজস্ক্রিয়ায় কতকগুলি ঘটনা দেখা যায় যাহা এক একটি কণার ক্রিয়া বলিয়া ধরিলে উহার সুষ্ঠ ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। X-রশ্মির সাহায্যে অণুর আকার জানা গিয়াছে। মাস স্পেক্ট্রোগ্রাফ (Mass spectrograph) যন্ত্রে আমরা অণুর ভর বাহির করিতে পারি।

অণুর এলোমেলো গতির প্রমাণ। জলে বা বায়ুতে অন্য পদার্থের অতিক্ষুদ্র ($10^{-3}-10^{-5}$ ব্যাসের) কণা নিরালম্ব অবস্থায় (suspended) থাকিতে দিয়া লেন্সে গঠিত শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে উহাদের দেখিতে গেলে দেখা যাইবে কণাগুলি অবিরত এলোমেলো ভাবে আঁকা বাঁকা পথে চলিয়া বেড়াইতেছে (পরবর্তী অনুচ্ছেদে 'ব্রাউনীয় গতি' দেখ)। এ কণাগুলি অণু নয়; প্রায় 10^{6} হইতে 10^{12} সংখ্যক অণুতে ইহারা গঠিত। এই কণাগুলির এলোমেলো গতির মূল সন্ধান করিয়া জানা গিয়াছে জল বা বায়ুর অণুগুলির গতি জনিত ধাক্কা খাইয়া ইহারা আঁকা বাঁকা পথে চলিয়া বেড়ায়। (মেলায় খুব ভিড়ের মধ্যে ভারী বোঝা লইয়া চলিতে গেলে কোন লোকের গতি যেমন হয়, এই কণাগুলির গতি কতকটা সেই রকম।) কণাগুলির এই অনিয়ন্ত্রিত ও অবিরাম গতি তরল ও গ্যাসে অণুর অস্তিত্ব ও অবিরাম গতির সবচেয়ে প্রত্যক্ষ প্রমাণ। অণুর গতি যে সম্পূর্ণ এলোমেলো তাহা কণাগুলির ব্রাউনীয় গতি দেখিয়া বোঝা যায়।

(সম্পূর্ণ এলোমেলো (random) অর্থে বুঝিতে হইবে গতির দিক্ যে কোন দিক্ হইতে পারে। কোন একদিকে চলিবার সম্ভাব্যতা (probability) অন্য যে কোন দিকে চলিবার সম্ভাব্যতার সমান।)

তরলে ও গ্যাসে অণুর এলোমেলো গতির উপরোক্ত প্রমাণ ছাড়া অন্যান্য অনেক প্রমাণ আছে। সেগুলি ক্রমশ জানিতে পারিবে।

বিভিন্ন গ্যাসের আচরণে সাদৃশ্য খুব বেশী এবং গ্যাস সূত্রগুলি (চার্লস্ ও বয়েল সূত্র) খুব সরল। ইহাতে মনে হয় গ্যাসের গঠন তরল বা কঠিন পদার্থের গঠনের চেয়ে অনেক সরল। 9-3 অনুচ্ছেদ হইতে আদর্শ গ্যাসের সম্ভাব্য মৌলিক গঠন ও তাহার ফলাফল আমরা আলোচনা করিব।

9-2. ব্রাউনীয় গতি (Brownian movement)। 1827 খ্রীষ্টাব্দে বৃটিশ উদ্ভিদ্ বিজ্ঞানী ব্রাউন একটি অপ্রত্যাশিত ঘটনা আবিষ্কার করেন। শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে তিনি দেখেন যে তরলে নিলম্বিত (suspended) পরাগ রেণু (pollen grain) গুলি তরলের মধ্যে যেন অকারণে সব সময়ই সম্পূর্ণ এলোমেলো ভাবে (randomly) আঁকা বাঁকা পথে ছুটাছুটি করিয়া বেড়াইতেছে। উষ্ণতা স্থির থাকিলেও এই এলোমেলো গতির পরিবর্তন হয় না; গতি না থামিয়া বা না কমিয়া অবিরত

চলিতে থাকে। এই গতিকে **ব্রাউনীয় গতি (Brownian movements)** নাম দেওয়া হয়। (পরে দেখা যায় তরলে মেশান যে কোন অদ্রাব্য কঠিন পদার্থের অতি ছোট কণা (ব্যাসে $10^{-3}-10^{-5}$ cm) গুলিতেও গতি অনুরূপ। বায়ুতেও অনুরূপ গতি দেখা যায়, এবং তরলের চেয়ে বায়ুতে ব্রাউনীয় গতি বেশী পরিস্ফুট।)

ক্রমে ব্রাউনীয় গতির প্রকৃতি সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় অনেক তথ্য পাওয়া যায়। তাহাদের প্রধান প্রধান কয়েকটির কথা নিচে বলা হইল।

(১) ব্রাউনীয় গতি বিরামহীন (eternal) ও সম্পূর্ণ এলোমেলো (random)। একই কণা বার বার তাহার গতির দিক্ পরিবর্তন করে।

(২) কাছাকাছি দুইটি কণা একই সময়ে একই দিকে যায় না।

(৩) ব্রাউনীয় গতি তরলের আধারের কোন কম্পনের উপর নির্ভর করে না।

(৪) তরলের সান্দ্রতা (viscosity) কম হইলে গতি বেশী পরিস্ফুট হয়।

(৫) কণাগুলি আকারে ছোট হইলে উহাদের ব্রাউনীয় গতি বেশী পরিস্ফুট হয়।

(৬) একই পদার্থের সমান আকারের দুইটি কণার গড়বেগ একই উষ্ণতায় সমান থাকে।

(৭) উষ্ণতা বাড়িলে কণাগুলির গতিও বাড়ে।

এখানে কয়েকটি কথা বলা প্রয়োজন মনে করি। নিমজ্জিত কণাগুলি সব দিক হইতে জলের অণুর ধাক্কা খায়। কণা অণুর চেয়ে অনেক বড় হইলে সকল দিক হইতে ধাক্কার ফলে উহার উপর ক্রিয়াশীল গড় বলের মান কার্যত শূন্য হয়। কিন্তু কণা যেমন ছোট হয় এক দিক হইতে উহার উপর ধাক্কা বিপরীত দিক হইতে ধাক্কার সমান না হইবার সম্ভাবনা তেমন বাড়ে। তখন কণার উপর ক্রিয়মান বলের ক্রিয়ায় উহা বলের অভিমুখে চলে। অণুগুলির গতি সম্পূর্ণ এলোমেলো হইলে ছোট কণার গতির দিকও অনবরত বদলাইবে ও উহা আঁকা বাঁকা পথে চলিবে। ব্রাউনীয় গতির সম্পূর্ণ ব্যাখ্যা পাইতে মানিতে হয় তরল বা গ্যাসীয় অণুর গতি শাশ্বত (eternal) ও উহা উষ্ণতার সঙ্গে বাড়ে। মাধ্যমের সান্দ্রতা গতিতে বাধা দেয়।

9-3. আদর্শ গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্য (বা অঙ্গীকার) (Basic assumptions of the kinetic theory of ideal gases)।

গ্যাস অণু দিয়া গঠিত ; অণুগুলি সব সময় তীব্রবেগে এলোমেলো ভাবে চলে এবং নিজেদের সঙ্গে ও আধারের দেওয়ালে ধাক্কা খায়। এই চিত্রের ভিত্তিতে গ্যাসের আচরণ ব্যাখ্যা করা গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের (kinetic theory of gases-এর) উদ্দেশ্য। এ জন্য কয়েকটি বিষয় স্বীকার করিয়া নেওয়া হয় ; এ গুলিকে গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের **মৌলিক স্বীকার্য (বা অঙ্গীকার) (Basic assumptions)** বলে। নিচে আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য স্বীকার্য কয়টি সংক্ষেপে বলা হইল।

(১) গ্যাস কণা দিয়া গঠিত ; কণাগুলিকে অণু বলে। নির্দিষ্ট গ্যাসের সকল অণুগুলিই এক রকম। উহারা কঠিন, মসৃণ এবং সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক গোলকের মত আচরণ করে। অল্প আয়তন গ্যাসে প্রচুর সংখ্যক অণু থাকে।

(২) অণুগুলি সব সময় এলোমেলো (random) ভাবে ছুটাছুটি করে এবং নিজেদের সঙ্গে ও আধারের দেওয়ালে ধাক্কা খায়। চলা ও ধাক্কার ব্যাপারে উহারা নিউটনের সূত্র মানিয়া চলে।

(৩) অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ নাই।

(৪) আধারের আয়তনের তুলনায় অণুগুলির মোট আয়তন উপেক্ষণীয়।

(৫) যে কোন অণু পর পর দুইটি ধাক্কা খাওয়ার মধ্যবর্তী কালে সরল রেখায় সুষম বেগে চলে।

(৬) ধাক্কাতে যে সময় যায় তাহা দুই ধাক্কার মধ্যে অতিক্রান্ত সময়ের তুলনায় নগণ্য।

9-4. গতীয় তত্ত্ব অনুসারে আদর্শ গ্যাসের চাপের ব্যাখ্যা (Explanation of pressure of an ideal gas on the kinetic theory)। এলোমেলো গতির জন্য গ্যাসের অণু সততই আধারের দেওয়ালে ধাক্কা খাইয়া ফিরিয়া আসে। m ভরের অণু c বেগে চলিয়া দেওয়ালে লম্বভাবে আপতিত হইলে $-c$ বেগে ফিরিয়া আসিবে (কারণ ধাক্কা স্থিতিস্থাপক)। ইহাতে অণুর ভরবেগের পরিবর্তন হইবে $mc-(-mc)=2\,mc$। দেওয়ালে ধাক্কা খাওয়ায় প্রত্যেক অণুর ভরবেগের পরিবর্তন হয়। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে ভরবেগ পরিবর্তনের হারের সমান বল দেওয়ালের অভিলম্বে ক্রিয়া করিবে। এক সেকেণ্ডে এরূপ অনেকগুলি ধাক্কা পড়িলে দেওয়ালের উপর যে গড় বল ক্রিয়া করে তাহার মান ঐ এক সেকেণ্ডে সংঘটিত ভরবেগ পরিবর্তনের সমান। দেওয়ালের 1 cm^2 ক্ষেত্রের উপর এই ভাবে যে বল ক্রিয়া করে তাহাই দেওয়ালের উপর গ্যাসের চাপ। এই ভিত্তিতে হিসাব করিলে দেখা যায় চাপ

$$P=\tfrac{1}{3}\,mnc^2 \qquad (9\text{-}4.1)$$

হয়। এখানে m = অণুর ভর, n = প্রতি 1 cm^3 আয়তনে অণুর সংখ্যা এবং c = অণুর বেগ।

[**মন্তব্য**—আসলে নির্দিষ্ট উষ্ণতায়ও গ্যাসের সকল অণুর বেগ সমান নয়। বেগের অসমতা হিসাবে নিলে বলা যায় c হইবে অণুগুলির বেগের বর্গের গড়মানের বর্গমূল (root mean square velocity, সংক্ষেপে r.m.s velocity)।]

9-5. গতীয় তত্ত্ব অনুসারে উষ্ণতার কল্পন (Concept of temperature from kinetic theory)। 9-4.1 সমীকরণের উভয় দিক গ্যাসের আয়তন V দিয়া গুণ করিলে পাই

$$PV=\tfrac{1}{3}\,mnVc^2=\tfrac{1}{3}\,mNc^2 \qquad (9\text{-}5.1)$$

এখানে $N=nV$ পাত্রে মোট অণুর সংখ্যা। বয়েল সূত্র অনুসারে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় PV-র মান স্থির। 9-5.1 সমীকরণে m ও N স্থির রাশি বলিয়া নির্দিষ্ট উষ্ণতায় c^2-ও স্থির থাকিবে।

N_A = আভোগাড্রো সংখ্যা = এক গ্রাম-অণু পদার্থে অণুর সংখ্যা হইলে, এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$PV_M=\tfrac{1}{3}\,mN_A\,c^2$$

হইবে। (এই সমীকরণে V_M = এক গ্রাম-অণু গ্যাসের আয়তন।) আদর্শ গ্যাস

সমীকরণ $PV_M = R_M T$-র (4-6.2 সমীকরণ) সঙ্গে এই সমীকরণ তুলনা করিলে দেখিতে পাই

$$\tfrac{1}{3} m N_A c^2 = R_M T \tag{9-5.2}$$

এখানে T = নিরপেক্ষ স্কেলে উষ্ণতা, R_M = গ্যাসীয় নিত্যরাশি (universal gas constant বা gram-molecular gas constant ; 4-7 বিভাগ দ্রষ্টব্য)।

প্রত্যেকটি গ্যাস-অণুর গতিশক্তি = $\tfrac{1}{2} mc^2$। অতএব

$$\tfrac{1}{2} mc^2 = \frac{3}{2}\frac{R_M}{N_A} = \frac{3}{2} kT \tag{9-5.3}$$

$k = R_M/N_A$ রাশিটি একটি নিত্যসংখ্যা, ইহাকে **বোল্‌ৎস্‌মানের নিত্যসংখ্যা (Boltzmann's constant)** বলে।

9-5.3 সমীকরণ হইতে দেখা যায় **গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুসারে নিরপেক্ষ স্কেলে গ্যাসের উষ্ণতা T উহার অণুর গতিশক্তির সমানুপাতিক।** 'উষ্ণতা অণুর ভরকেন্দ্রের গতিশক্তির সমানুপাতিক'—এই উক্তিটি খুবই মূল্যবান। বস্তুতঃ 9-5.3 সমীকরণকে উষ্ণতার একটি সংজ্ঞা বলিয়া ধরা যায়। এই সংজ্ঞা অনুসারে পাওয়া উষ্ণতাকে অনেক সময় 'গতীয় উষ্ণতা' (Kinetic temperature)-ও বলে। অন্যান্য ভাবেও উষ্ণতার সংজ্ঞা পাওয়া যায়। কিন্তু সেগুলি আমাদের বর্তমান আলোচনার বাহিরে।

9-5.1. নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্যাস অণুর বেগ c-র মান। $P = \tfrac{1}{3} mnc^2$, অর্থাৎ 9-4.1 সমীকরণে, mn গুণফল 1 cm³ আয়তনে অবস্থিত গ্যাসের ভর। অতএব $mn = \rho$ = আলোচ্য উষ্ণতায় ও চাপে গ্যাসের ঘনত্ব।

$$\therefore\quad P = \tfrac{1}{3} mnc^2 = \tfrac{1}{3}\rho c^2 \text{ বা } c = \sqrt{3P/\rho} \tag{9-5.4}$$

প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $\rho = 9 \times 10^{-5}$ g/cm³। প্রমাণ চাপ = $1{\cdot}013 \times 10^6$ dyn/cm² এবং প্রমাণ উষ্ণতা $T = 273$°K (অর্থাৎ 0°C)।

অতএব 0°C-তে হাইড্রোজেন অণুর বেগ

$$c = \sqrt{3 \times 1{\cdot}013 \times 10^6/(9 \times 10^{-5})} = 1{\cdot}85 \times 10^5 \text{ cm/s} = 1{\cdot}85$$

km/s (c চাপের উপর নির্ভর করে না, কারণ স্থির উষ্ণতায় P/ρ = স্থির রাশি (4-6.5 সমীকরণ)।

0°C-তে অন্য কয়েকটি গ্যাসের বেগ নিচে দেওয়া হইল

গ্যাস	বেগ	গ্যাস	বেগ
H_2	$18{\cdot}5 \times 10^4$ cm/s	O_2	$4{\cdot}61 \times 10^4$ cm/s
He	$13{\cdot}1$,,	CO_2	$3{\cdot}92$,,
N_2	$4{\cdot}93$,,		

9-6. আদর্শ গ্যাসের সূত্রগুলির প্রযোজ্যতার সীমা (Limitations of the ideal gas laws)। 4-7 বিভাগে আদর্শ গ্যাসের কথা আমরা প্রথম বলিয়াছি। সেখানেই বলা হইয়াছে যে, যে গ্যাস সকল চাপে ও উষ্ণতায় বয়েল সূত্র এবং চার্লস সূত্র মানিয়া চলে তাহাকে আদর্শ গ্যাস বলে। কোন বাস্তব গ্যাস (real gas)-ই আদর্শ নয়, কারণ (১) যথেষ্ট ঠাণ্ডা করিলে সকল গ্যাসই তরলে পরিণত হয়, ও (২) বেশী চাপে কোন গ্যাসই বয়েল সূত্র মানিয়া চলে না (P বাড়িলে PV গুণফল বাড়ে)। ইহা ছাড়াও উভয় সূত্রের ক্ষেত্রেই বাস্তব গ্যাসের আচরণে অন্যান্য জটিলতাও আছে।

বাস্তব গ্যাস যে সূত্র দুইটি সম্পূর্ণ মানে না তাহার একাধিক কারণ আছে। একটি কারণ গ্যাসের অণুর পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ (এই আকর্ষণ মহাকর্ষীয় নয়)। দূরত্ব বাড়িলে উভয় বলই কমে এবং দূরত্ব কমিলে উহারা অনেক জোরাল হয়। দ্বিতীয় হইল অণুর গঠন। অণুতে মাত্র একটি পরমাণুও থাকিতে পারে (নিষ্ক্রিয় গ্যাস He, Ne, Ar ইত্যাদি), আবার উহা গঠনে অনেক জটিলও হইতে পারে (CO_2, NH_3, CH_4, C_2H_6 ইত্যাদি)। অণুর আয়তন আছে। আদর্শ গ্যাসের স্বীকার্যগুলি লক্ষ্য করিয়া দেখ অণুর মধ্যে পারস্পরিক বল ক্রিয়া করে বলিয়া ধরা হয় নাই, উহাদের আয়তন কার্যত উপেক্ষা করা হইয়াছে এবং গঠন অতিরিক্ত সরল করা হইয়াছে। বেশী উষ্ণতায় উহাদের সকলের আচরণ স্থিতিস্থাপক গোলকের মত হয় না।

চাপ খুব কম হইলে অণুগুলির মধ্যে দূরত্ব অনেক বাড়ায় আকর্ষণ বিকর্ষণের বল কার্যত উপেক্ষণীয় হয়। এরূপ ক্ষেত্রে উহার আচরণ আদর্শ গ্যাসের অনেক কাছাকাছি আসে কারণ তখন আদর্শ গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের স্বীকার্যগুলি বহু পরিমাণে পূর্ণ হয়।

আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের আচরণে প্রভেদ থাকিলেও প্রাথমিক স্তরে সকল গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মত আচরণ করে, অর্থাৎ চার্লস ও বয়েল সূত্র উভয়কেই মানে, ইহাই ধরা হয়।

অনুশীলনী

1. পদার্থের আণবিক গঠনের কি প্রমাণ দিতে পার ?
2. তরলে ও গ্যাসে অণুর গতি এলোমেলো এ কথা বলার সমর্থনে কি প্রমাণ দিতে পার ?
3. ব্রাউনীয় গতি কাহাকে বলে ? গ্যাসের গতীয়তত্ত্বে উহার মূল্য কি ?
4. আদর্শ গ্যাসের গতীয়তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যগুলি কি কি ?
5. গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুসারে গ্যাসের চাপ কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায় সংক্ষেপে বল।
6. গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুসারে উষ্ণতার সংজ্ঞা কিভাবে দেওয়া যায় ?
7. গ্যাসের চাপ ও ঘনত্ব জানা থাকিলে উহা হইতে গ্যাস অণুর বেগ কিভাবে হিসাব করিবে ? বেগের সঙ্গে উষ্ণতার কি সম্পর্ক ?
8. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় অক্সিজেনের ঘনত্ব 1·43 g/l হইলে অক্সিজেন অণুর বেগ কত ? 100°C-তে বেগ কত হইবে ?
9. বাস্তব গ্যাস ও আদর্শ গ্যাসে প্রভেদ কি ? কি হইলে বাস্তব গ্যাস কার্যত আদর্শ গ্যাসের মত আচরণ করে ?
10. আভোগাড্রো সংখ্যা, গ্যাসীয় নিত্যরাশি ও বোল্‌ৎসমানের নিত্যসংখ্যা কাহাদের বলে ? অণুর বেগ ও উষ্ণতার সম্পর্ক কি ?

১০ ‖ তাপ ও কার্য
(Heat and work)

10-1. তাপের প্রকৃতি (Nature of heat)। তাপ সংক্রান্ত সকল ঘটনার মূলে আছে দুটি রাশি—উষ্ণতা ও তাপ। ইহাদের প্রভেদ বুঝিতে বিজ্ঞানীর অনেক সময় লাগিয়াছিল। জল ও জল-তল (water-level)-এর সঙ্গে তুলনা করিয়া উহাদের একপ্রকার প্রভেদ আমরা 1-3 বিভাগে আলোচনা করিয়াছি। এই তুলনায় নির্দিষ্ট অবস্থায় কোন বস্তুতে একটা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ থাকে এরূপ ধরা হইয়াছে। কিন্তু তাপের প্রকৃতি কি? এক সময়ে উহাকে ভরহীন কোন পদার্থ—ক্যালরিক (caloric) বলিয়া মনে করা হইত। কিন্তু কামানে বিঁধ করা তদারক করিতে গিয়া কাউন্ট রামফোর্ড দেখেন (1799 খ্রীঃ) যে বিঁধের সঙ্গে কামানের ঘর্ষণে তাপ উৎপন্ন হইয়াই চলিয়াছে এবং যত বেশী ঘর্ষণ হয় তত বেশী তাপ উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন তাপের পরিমাণ কার্যত অফুরন্ত (inexhaustible) হওয়ায় তিনি মনে করেন যে তাপ কোন প্রকার পদার্থ হইতে পারে না, কারণ কামান বা বিঁধ কোনটিতেই অফুরন্ত পরিমাণ পদার্থ থাকিতে পারে না। অফুরন্ত তাপের উদ্গম দেখিয়া তিনি সিদ্ধান্ত করেন তাপ নিশ্চয়ই কোন প্রকারের গতি। রামফোর্ডের কাজের অল্প পরেই (1799 খ্রীঃ) ডেভি (Davy) নির্বাত আধারে $-2°C$-তে দুখণ্ড বরফ ঘষিয়া গলাইয়া দেখান যে ঘর্ষণ হইতেই বরফ গলিবার লীন তাপ পাইয়াছে।

তাপ এক প্রকার শক্তি। রামফোর্ড ও ডেভির পরীক্ষা তাপের সঙ্গে গতির ঘনিষ্ঠ সংযোগ নির্দেশ করিলেও তখনকার বিজ্ঞানীরা এ সিদ্ধান্ত মানিয়া নেন নাই। কতকগুলি বিচারে জর্মন ডাক্তার রবার্ট মায়ার (Robert Mayer ; 1814-1878) প্রথম বলেন 'তাপ একপ্রকার শক্তি'। একই ধারণায় উদ্বুদ্ধ হইয়া জেম্‌স্ প্রেস্‌কট জুল* (James Prescott Joule ; 1818-1898) নানা রকম পরীক্ষার সাহায্যে (10-3 বিভাগ দেখ) এই সিদ্ধান্ত স্থায়ীভাবে প্রতিষ্ঠিত করেন।

বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপ। গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব (Kinetic theory of gases ; নবম পরিচ্ছেদ) হইতে দেখা যায় গ্যাসের উষ্ণতা উহার অণুগুলির ভরকেন্দ্রের গড় গতিশক্তির আনুপাতিক। পদার্থের অণুতে উহার ভরকেন্দ্রের গতিশক্তি ছাড়া অণুর অঙ্গীভূত পরমাণুর ঘূর্ণন ও কম্পনের শক্তিও সাধারণত থাকে। তাছাড়া, প্রত্যেক পদার্থের অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণের জন্য স্থিতিশক্তিও

---

* তাপের প্রকৃতির ইতিহাসে একটা ব্যাপার অদ্ভুত। যাঁহারা ইহা লইয়া মৌলিক গবেষণা করেন তাঁহারা কেহই মূলত পদার্থ বিজ্ঞানী ছিলেন না। রামফোর্ড ছিলেন ভাগ্যান্বেষী এবং ইঞ্জিনিয়ার ; শেষে ব্যাভেরিয়ার যুদ্ধ মন্ত্রী হইয়াছিলেন। মায়ার ছিলেন চিকিৎসক এবং জুল ছিলেন মদের ব্যবসায়ের মালিক। পদার্থবিজ্ঞান ইহাদের শখের নেশা (hobby) ছিল বলা যায়।

থাকে। কোন বস্তুর অণুগুলির মোট যান্ত্রিক শক্তি (স্থিতিশক্তি + গতিশক্তি)-কে উহার **অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal energy)** বলে।

তাপকে বহুকাল অভ্যন্তরীণ এই মোট যান্ত্রিক শক্তি মনে করা হইত। এই কারণেই কোন বস্তুর 'মোট তাপ' প্রভৃতি কথা প্রচলিত হয়। কিন্তু এখন আর অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপশক্তিকে এক মনে করা হয় না। **উষ্ণতার প্রভেদে অভ্যন্তরীণ শক্তির কিছুটা একস্থান হইতে অন্যস্থানে গেলে প্রবাহিত শক্তিকেই তাপশক্তি বলা হয়।** যেখানে তাপশক্তি যায় সেখানে অণুর গড় গতিশক্তি, অর্থাৎ উষ্ণতা, বাড়ে। লীন তাপ এ হিসাবে তাপ নয়, কারণ লীন তাপে উষ্ণতা বাড়ায় না ; উহাতে অণুর স্থিতিশক্তি বাড়ে।

তাপের আধুনিক এই সংজ্ঞা বুঝাইতে সুন্দর একটি উপমা দেওয়া হয়। মনে কর মেঘ হইতে জল বারিবিন্দুর আকারে নদীতে পড়িতেছে। যতক্ষণ জল পড়ন্ত বারিবিন্দুরূপে আছে ততক্ষণই উহা বৃষ্টি ; নদীর জলে পড়িলে উহার আলাদা অস্তিত্ব নাই, উহা জল। সেই রকম যতক্ষণ বস্তুর অণুর অভ্যন্তরীণ শক্তি অন্যত্র চালিত হইয়া সেখানকার অণুর গতিশক্তি বাড়াইতেছে, ততক্ষণই উহা তাপ। শীতলতর বস্তুতে প্রবেশ করিয়া উহা শীতল বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তিতে পরিণত হইতেছে।

10-1.1. তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র (First law of thermodynamics)। সচল শক্তিরূপী তাপের রূপান্তরও হইতে পারে। স্থানান্তরিত হইতে বা স্থানান্তরিত হইয়া উহা কার্য করিতে পারে। তাপের কার্যে পরিণত হওয়া বা গতির তাপে পরিণত হওয়া তাপতত্ত্বের এক শাখা 'তাপগতি-বিজ্ঞান' (Thermodynamics)-এর অন্তর্গত। উহা প্রধানত দুইটি সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত। প্রথম সূত্রে বলে **কোন বস্তুতে সামান্য Q পরিমাণ তাপ দিলে উহা বস্তুটির অভ্যন্তরীণ শক্তি U' পরিমাণ বাড়াইতে পারে এবং বস্তুটি W পরিমাণ কার্য করিতে পারে।** রাশি তিনটির সম্পর্ক

$$Q = U' + W. \qquad (10\text{-}1.1)$$

ইহাই তাপগতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ*। সমীকরণে $+Q$ তাপ যোগ, $-Q$ তাপ বিয়োগ, $+U'$ অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধি, $-U'$ অভ্যন্তরীণ শক্তিহ্রাস (অতএব উষ্ণতা হ্রাস), $+W$ বস্তু দ্বারা কৃত কার্য ও $-W$ বস্তুর উপর কৃত কার্য বুঝায় (10-4 বিভাগ দেখ)।

---

* যাহারা পদার্থবিজ্ঞানের উচ্চতর স্তরে যাইবে তাহারা তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের রূপ অবকল গণিত (Differential calculus)-এর সংকেতে দেখিতে পাইবে। এ রূপ হইল $\delta Q = dU + \delta W$। এ স্তরে সকলে অবকল গণিতের সঙ্গে পরিচিত না হইতেও পারে মনে করিয়া আমরা অবিকল গণিতের ভাষা ব্যবহার করি নাই। আমাদের 10-1.1 সমীকরণের $Q \equiv \delta Q$, $U' \equiv dU$ এবং $W \equiv \delta W$ ধরিতে হইবে। $\equiv$ চিহ্নটি 'অভিন্নতা' বুঝায় অর্থাৎ এই Q ও δQ অভিন্ন, ইত্যাদি।

বস্তুর মোট তাপ, লীন তাপ প্রভৃতি কথাগুলি প্রাচীন কাল হইতেই চলিয়া আসিতেছে। তাপের আধুনিক সংজ্ঞার সঙ্গে খাপ না খাইলেও ইহাদের ব্যবহার পরিত্যক্ত হয় নাই। তাপ সংক্রান্ত লেখায় আমরা এখনও প্রাচীন কথাগুলি ব্যবহার করিতেছি।

জুলের পরীক্ষা বা ঘষা প্রভৃতিতে যান্ত্রিক শক্তি (বা অন্য কোন প্রকার শক্তি) যখন তাপে পরিণত হয়, তখন তাপের আধুনিক সংজ্ঞা প্রযুক্ত হয় কি করিয়া? যান্ত্রিক কার্য বা অন্য শক্তি রূপান্তরিত হইয়া পদার্থের অণুর গড় গতিশক্তি বাড়াইতে পারিলে বস্তুর উষ্ণতা বাড়িবে। তাপযোগে উষ্ণতা বৃদ্ধির মূল সূত্র $Q = mst$ (5-2.1 সমীকরণ)। আলোচ্য ক্ষেত্রে **উষ্ণতা বাড়িলে বস্তু mst পরিমাণ তাপ পাইয়াছে বলিয়া মনে করা হয়।** আধুনিক বিচারে বলিব অন্য শক্তির রূপান্তরে বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়িয়াছে। তাপযোগেও আমরা অভ্যন্তরীণ শক্তি এই পরিমাণ বাড়াইতে পারিতাম। অতএব শোষিত শক্তির সঙ্গে তাপের সমতা আছে। অভ্যন্তরীণ শক্তির কিছু অংশ তাপশক্তি (অর্থাৎ তাপপ্রবাহ) রূপে দেখা দিবে কিনা তাহা নির্ভর করে এই বস্তুর ও উহার পরিপার্শ্বের উষ্ণতার প্রভেদের উপর।

10-2. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক (Mechanical equivalent of heat) । হাত ঘষিলে হাত গরম হয়; ঘর্ষণে সব সময়ই তাপ উৎপন্ন হয়। যান্ত্রিক শক্তিকে তাপে পরিণত করা যায় ইহা তাহার একটি উদাহরণ। জুল পরীক্ষার সাহায্যে দেখাইয়াছেন কার্যকে সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত করা যায় এবং কার্য পূর্ণত তাপে পরিণত হইলে উদ্ভূত তাপ কৃত কার্যের আনুপাতিক হয়। **W পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য সম্পূর্ণরূপে তাপে পরিণত হইয়া যদি Q পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করে তাহা হইলে W/Q অনুপাত স্থিররাশি হয় এবং এই অনুপাতকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক (Mechanical equivalent of heat) বা জুলের তুল্যাংক (Joule's equivalent) বলে।** এই তুল্যাংক সাধারণত J অক্ষর দিয়া বুঝান হয়।

তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক (বা জুলের তুল্যাংক) $J = W/Q =$ স্থির রাশি (10-2.1)

W এবং Q-এর কোন্‌টি কি এককে প্রকাশিত হইয়াছে তাহার উপর J-র সংখ্যাগত মান নির্ভর করিবে।

W আর্গে এবং Q ক্যালরিতে হইলে স্থূলভাবে

$$J = 4{\cdot}2 \times 10^7 \text{ erg/cal (সূক্ষ্মমান } 4{\cdot}1855 \times 10^7 \text{ erg/cal)।}$$

ইহার অর্থ $4{\cdot}2 \times 10^7$ erg কার্য সম্পূর্ণ ভাবে তাপে পরিণত হইলে 1 cal তাপ উৎপন্ন হইবে। W জুলে এবং Q ক্যালরিতে প্রকাশ করিলে

$$J = 4{\cdot}2 \text{ joule/cal (সূক্ষ্ম মান } 4{\cdot}1855 \text{ joule/cal)}$$

উদাহরণ। (1) 10 g ভর 300 m/s বেগে চলিতেছিল। উহাকে হঠাৎ থামাইয়া দেওয়া হইল। উহার গতিশক্তি সম্পূর্ণ ভাবে তাপে পরিণত হইলে কত তাপ উদ্ভূত হইয়াছিল? ঐ তাপ বস্তুটিতেই থাকিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি কত হইবে? (আপেক্ষিক তাপ = 0·03)

[সমাধান—বস্তুটির বেগ $=3\times10^4$ cm/s ; গতিশক্তি $=\frac{1}{2}\times10\times(3\times10^4)^2$ erg। $J=4{\cdot}2\times10^7$ erg/cal ধরিলে, $Q=W/J=\frac{1}{2}\times10\times(3\times10^4)^2$ erg/$4{\cdot}2\times10^7$ erg/cal $=107{\cdot}1$ cal। উষ্ণতা বৃদ্ধি $t=Q/ms=107{\cdot}1$ cal/10 g. $0{\cdot}03$ cal $g^{-1}{}^{\circ}C^{-1}=357$ C° ।]

(2) 0°C উষ্ণতার 1 g বরফ কত উচ্চতা হইতে পড়িলে উহার স্থিতিশক্তি সম্পূর্ণ ভাবে তাপে পরিণত হইয়া বরফেই থাকিলে বরফ গলিবে ? (লীন তাপ = 80 cal/g)

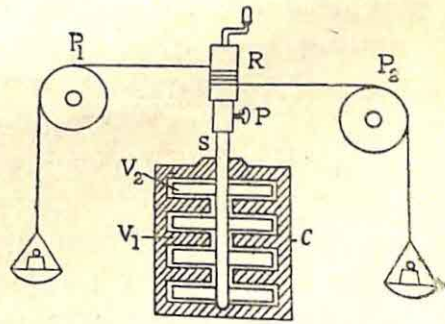
[সমাধান—নির্ণেয় উচ্চতা h cm হইলে বরফের স্থিতিশক্তি $=980\,h$ erg। ইহা 80 ক্যালরির সমান হইতে হইবে। অতএব $980\,h$ erg $=80$ cal $\times4{\cdot}2\times10^7$ erg/cal ; বা $h=3{\cdot}43\times10^6$ cm $(=34{\cdot}3$ km$)$ ।]

(3) একটি সীসার গুলি 400 m/s বেগে চলিয়া লক্ষ্যে আঘাত করিয়া থামিয়া গেল। উহার গতিশক্তি সম্পূর্ণ ভাবে তাপে পরিণত হইয়া সমান ভাবে লক্ষ্য ও গুলিতে বণ্টিত হইলে গুলির উষ্ণতা বৃদ্ধি কত হইবে ? (সীসার আপেক্ষিক তাপ = 0·03)

[সমাধান—গুলির গতিশক্তি $=\frac{1}{2}M\times(40{,}000)^2$ erg ; M = গ্রাম এককে গুলির ভর। উদ্ভূত তাপ $=\frac{1}{2}M\times(40{,}000)^2/4{\cdot}2\times10^7$ cal। সীসার গুলিতে ইহার অর্ধেক যায়। সেই তাপের জন্য উষ্ণতা বৃদ্ধি t C° হইলে $t=Q/Ms=\frac{1}{4}M.16.10^8/M.4{\cdot}2\times10^7\times0{\cdot}03=317{\cdot}5$ C° ।]

(4) ভিক্টোরিয়া জলপ্রপাত 104·6 m উঁচু। $J=4{\cdot}2$ joule/cal হইলে জলপ্রপাতের উপরের আর নিচের জলে উষ্ণতার প্রভেদ কত ?

[সমাধান—জলপ্রপাতের উপরাংশে m গ্রাম জলের স্থিতিশক্তি mgh। এই জল নিচে পড়িতে উহার স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে পরিণত হইল। এই গতিশক্তি সম্পূর্ণভাবে তাপে পরিণত হইয়া m গ্রাম জলেই থাকিয়া গেলে উদ্ভূত তাপ $Q=mgh/J=mst$ cal। জলের $s=1$ বলিয়া উষ্ণতার প্রভেদ $t=$ প্রায় 0·24 C°]

10-3. J নির্ণয়ের জন্য জুলের পরীক্ষা (Joule's experiment for the determination of J, the mechanical equivalent of heat)। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক নির্ণয়ের জন্য প্রথম নির্ভরযোগ্য পরীক্ষা জুলই করেন। তাঁহার যান্ত্রিক ব্যবস্থা 10.1 চিত্রে দেখান হইয়াছে। C জল-ভরা, বেলনাকার, তামার একটি ক্যালরিমিটার। ভিতরে উহার দেওয়ালে পরস্পর সমকোণে চারখানা পাত (vane) লাগান আছে (8.1 চিত্রের V_1)। ক্যালরিমিটারের অক্ষে একটি খাড়া দণ্ড S-এর আড়াআড়ি কতকগুলি পাত (V_2) লাগান আছে। এই পাতগুলি S ঘোরার সময় V_1 পাতগুলিতে কাটা সমান মাপের ফাঁক গুলির ভিতর দিয়া S-এর সঙ্গে ঘুরিতে পারে। S-কে P পিনের সাহায্যে R দণ্ডের সঙ্গে আঁটা যায়। দু গাছা সুতা R দণ্ডে পেঁচাইয়া দুইটি পুলির (P_1, P_2) উপর দিয়া দুটি তুলাপাত্রের সঙ্গে বাঁধা হয়। উভয় পাত্রে ইচ্ছামত মানের সমান ওজন রাখা যায়।

চিত্র 10·1

পরীক্ষার আগে R দণ্ড আটকান থাকে। পরীক্ষার সময় R ঘুরিবার বাধা সরাইয়া নিলে ওজনদুটি অভিকর্ষের ক্রিয়ায় নিচে নামিতে থাকে। ইহাতে R-এর

সঙ্গে S এবং S-এর সঙ্গে V_2 পাতগুলি জলের মধ্যে ঘুরিতে থাকে। V_2 যে জলকে ঘুরায় তাহা V_1-এ ধাক্কা খায় এবং জলের গতিশক্তি তাপে পরিণত হইয়া জল ক্রমশ উষ্ণ হইতে থাকে। ওজনগুলি একটা নির্দিষ্ট দূরত্ব পড়িতে দিয়া P পিন খুলিয়া R ঘুরাইয়া উহাদের আবার উপরে তোলা হয়, এবং বার বার এরূপ করা হইতে থাকে। ওজনগুলির অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি জলের গতিশক্তিতে পরিণত হয়, এবং গতিশক্তি পরিণত হয় তাপে। জলের বাধার জন্য ওজনগুলি শেষ পর্যন্ত একটা স্থির বেগে (terminal velocity-তে) নামিতে থাকে। ইহা মাপা হয়। ধরা যাক

প্রত্যেকটি ওজনের ভর $= m$ g,
উহারা যতটা দূরত্ব নামে তাহা $= h$ cm,
অভিকর্ষীয় ত্বরণ $= g$ cm/s^2,
ওজনগুলি যতবার পড়ে সেই সংখ্যা $= n$,
যে স্থির বেগে ওজনগুলি নামে তাহা $= v$ cm/s,
ক্যালরিমিটার ও তাহার ভিতরের সব জিনিসের জলসম $= W$ g,
জলের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_1$°C,
জলের শেষ উষ্ণতা $= t_2$°C,

তাহা হইলে,

ওজন দুটির প্রাথমিক স্থিতিশক্তি $= 2\,mgh$,
পতনের পর উহাদের গতিশক্তি $= 2 \times \frac{1}{2}\,mv^2$,
প্রতিবার পতনে যে যান্ত্রিক শক্তি তাপে পরিণত হয় $= m\,(2\,gh - v^2)$,
n বার পতনে মোট যে শক্তি তাপে পরিণত হয় $= mn\,(2\,gh - v^2)$,
উৎপন্ন তাপ (Q) $= W\,(t_2 - t_1)$.

$$\therefore \quad J = \frac{\text{রূপান্তরিত যান্ত্রিক শক্তি}}{\text{উৎপন্ন তাপ}} = \frac{mn\,(2\,gh - v^2)}{W\,(t_2 - t_1)}. \qquad (10\text{-}3.1)$$

জুলের একটি পরীক্ষায় প্রত্যেকটি ওজন ছিল 30 lb। উহারা 20 বার $5\frac{1}{3}$ ft কার্যকর উচ্চতা হইতে পড়ে। ক্যালরিমিটারের মোট জলসম ছিল 14 lb, এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় 0·59 F°। এ ক্ষেত্রে উৎপন্ন তাপ $= 14 \times 0{\cdot}59 = 8{\cdot}26$ Br.t.u। রূপান্তরিত যান্ত্রিক শক্তি $= 2 \times 20 \times 30$ lb $\times 5\frac{1}{3}$ ft $= 6400$ ft. lb। অতএব $J = 6400$ ft. lb/8·26 Br.t.u. $= 775$ ft. lb/Br.t.u.। সিজিএস এককে ইহা প্রায় $4{\cdot}2 \times 10^7$ erg/cal.।

পরীক্ষায় (ক) ক্যালরিমিটার হইতে বিকিরণ ইত্যাদিতে তাপক্ষয় ও (খ) পুলির ঘর্ষণে যান্ত্রিক শক্তিক্ষয়ের জন্য শুদ্ধি করা হইয়াছিল।

কি উপায়ে যান্ত্রিক শক্তি তাপে পরিণত করা হয় তাহার উপর J-র মান নির্ভর করে না ইহা দেখাইবার জন্য জুল পরীক্ষাটি নানা ভাবে করেন। কোনটিতে জলের বদলে পারা ও পিতলের পাতের বদলে লোহার পাত ব্যবহার করা হয়। যান্ত্রিক কার্য বিভিন্ন ভাবে করা হয়—

(১) পারায় ডুবান অবস্থায় দুটি লোহার আংটা পরস্পর ঘষিয়া ;

(২) সরু নলের মধ্য দিয়া জল চালাইয়া ;

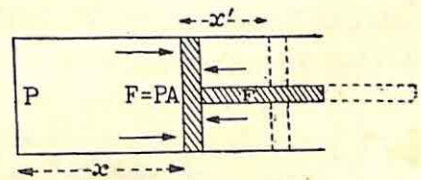
(৩) গ্যাস চাপিয়া ; (৪) জানা পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তিতে ডাইনামো চালাইয়া ডাইনামোতে উৎপন্ন বিদ্যুৎ প্রবাহে তাপন মাপিয়া।

জুলের সময়ে যান্ত্রিক সূক্ষ্মতা আধুনিক কালের মত ছিল না। তাহা সত্ত্বেও তিনি এত যত্নে ও সতর্কতায় কাজ করিয়াছিলেন যে তাঁহার লব্ধ ফল পরবর্তী কালে অনেক যত্ন ও সূক্ষ্মতায় লব্ধ ফলের খুব কাছাকাছি।

জুলের পরে যান্ত্রিক শক্তি ও বৈদ্যুতিক শক্তিকে তাপে পরিণত করিয়া খুব সূক্ষ্মভাবে J-র মান মাপা হইয়াছে। এ সম্পর্কে রোল্যাণ্ড, ক্যালেণ্ডার, অসবোর্ণ ও অন্যান্য অনেকের নাম উল্লেখযোগ্য।

মন্তব্য। 1948 সালে যখন আন্তর্জাতিক সম্মতিক্রমে তাপের একক হিসাবে ক্যালরির বদলে শক্তির একক 'জুল' (joule) ব্যবহারের সিদ্ধান্ত গৃহীত হইল তখন হইতে 'তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক J'-র প্রয়োজন রহিল না। তাপ যখন শক্তি তখন উহা শক্তির এককে প্রকাশ করাই যুক্তিযুক্ত ; অযথা অন্য একটি একক আনিবার প্রয়োজন নাই। ইহা সত্ত্বেও 'ক্যালরি'র মায়া আমরা ছাড়িতে পারি নাই।

10-4. গ্যাসের সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ প্রসারণ (Isothermal and adiabatic expansion of gases)। কোন পাত্রস্থ গ্যাস যখন প্রসারিত হয় তখন প্রসারণ কালে উহার উষ্ণতা স্থির থাকিলে এরূপ প্রসারণকে **সমোষ্ণ প্রসারণ (Isothermal expansion)** বলে।

ধরা যাক গ্যাস কোন সিলিণ্ডারে (বেলনে) আবদ্ধ আছে। সিলিণ্ডারের এক প্রান্ত বদ্ধ, এবং উহার প্রস্থচ্ছেদ সুষম। অন্যপ্রান্তে একটি পিস্টন আছে। পিস্টন সিলিণ্ডারের ভিতর আগাইতে পিছাইতে পারে, পিস্টনের সঙ্গে সিলিণ্ডারের ঘর্ষণ জনিত কোন শক্তি ব্যয় হয় না এবং পিস্টন ও সিলিণ্ডারের ফাঁক দিয়া গ্যাস বাহির হইতে বা বাহির হইতে ভিতরে ঢুকিতে পারে না (10·2 চিত্র)। মনে কর গ্যাসের চাপ P অর্থাৎ সিলিণ্ডারের এবং পিস্টনের প্রতি একক ক্ষেত্রতলে (unit area-তে) গ্যাস P বল প্রয়োগ করে। পিস্টন সাম্যে রাখিতে বাহির হইতে পিস্টনের উপর ঠিক P চাপ প্রয়োগ করিতে হইবে।

চিত্র 10·2

এই অবস্থায় বাহিরের চাপ অতি সামান্য কমাইলেই গ্যাসের চাপে পিস্টন বাহিরের দিকে সরিবে এবং গ্যাস প্রসারিত হইবে। প্রসারণ কালে বাহিরের চাপের বিরুদ্ধে গ্যাস কার্য (work) করে, কারণ পিস্টনের উপর গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত বলের ক্রিয়াবিন্দু বলের অভিমুখে সরে। পিস্টনের সরণ অতি সামান্য পরিমাণ, ধর x', হইলে এবং পিস্টনের ক্ষেত্রফল A হইলে পিস্টনে প্রযুক্ত বল $F=PA$, এবং উহা দ্বারা কৃত কার্য $P \times Ax' = PV'$। এখানে $V' = Ax'$ পিস্টন সরায় গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি বুঝায়।

PV' কার্য করিবার শক্তি গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি হইতে আসিয়াছে।

অতএব অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস $-U'=PV'$ হইবে। ইহাতে গ্যাসের উষ্ণতা কমিবে। উষ্ণতা স্থির রাখিতে হইলে গ্যাসকে বাহির হইতে $Q=PV'$ পরিমাণ তাপ নিতে দিতে হইবে। তাহা হইলেই প্রসারণ সমোষ্ণ হইতে পারিবে।

উপরের আলোচনা হইতে দেখা যায় সমোষ্ণ প্রসারণে গ্যাস যতটা কার্য করে উহাকে তুল্যমান তাপ নিতে দিতে হয়। গ্যাস মোট W পরিমিত কার্য করিলে উহার উষ্ণতা স্থির রাখিতে উহাতে $W/J=Q$ পরিমিত তাপ যোগ করা দরকার হইবে। নহিলে গ্যাস শীতল হইবে।

বিপরীতভাবে, পিস্টনের উপর চাপ বাড়াইয়া গ্যাসের উপর কার্য করিলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি কৃত কার্যের সমান বাড়িবে। অতএব উষ্ণতা স্থির রাখিতে হইলে এই কার্যের তুল্যমান তাপ গ্যাস হইতে বাহির করিয়া নিতে হইবে।

রুদ্ধতাপ প্রসারণ (Adiabatic expansion)। গ্যাসের প্রসারণকালে উহার সঙ্গে বাহির হইতে তাপের কোন প্রকার আদান প্রদান হইতে না দিলে এরূপ প্রসারণকে **রুদ্ধতাপ প্রসারণ** বলে। রুদ্ধতাপ প্রসারণে গ্যাস কার্য করায় উহার অভ্যন্তরীণ শক্তি কমে, এবং গ্যাসে তাপ ঢুকিতে না দেওয়ায় গ্যাস শীতল হয়। বিপরীতভাবে, রুদ্ধতাপ অবস্থায় গ্যাস চাপিয়া সংকুচিত করিলে গ্যাসের উপর যে পরিমাণ কার্য করা হইয়াছে তাহার তুল্যমান তাপ যোগ করিলে গ্যাস যতটা উষ্ণ হইত উহা সেই পরিমাণ উষ্ণ হইবে।

রুদ্ধতাপ প্রসারণের ব্যবস্থা দু ভাবে হইতে পারে। গ্যাস পাত্র যদি তাপ কুপরিবাহী পদার্থে (যেমন ফেল্ট ইত্যাদিতে) আবৃত রাখা যায়, তাহা হইলে গ্যাসের প্রসারণ (বা সংকোচন) কার্যত রুদ্ধতাপ। বিকল্পে, প্রসারণ (বা সংকোচন) খুব দ্রুত ঘটাইলে গ্যাস কুপরিবাহী বলিয়া উহাতে তাপ আসা (বা তাপ যাওয়া) সেই মুহূর্তেই হয় না। কাজেই দ্রুত আয়তন পরিবর্তন কার্যত রুদ্ধতাপ।

সমোষ্ণ প্রসারণে অভ্যন্তরীণ শক্তি U-র পরিবর্তন হয় না বলিয়া (অর্থাৎ $U'=0$ হয় বলিয়া) তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের (10-1.1 সমীকরণ) রূপ হয় $Q=PV'$। রুদ্ধতাপ অবস্থায় তাপ যোগ হয় না বলিয়া $Q=0$; অতএব সমীকরণ হয় $0=U'+PV'$। PV' আর্গে প্রকাশিত হইলে উহাকে J দিয়া ভাগ করিয়া Q ও U' ক্যালরিতে পাওয়া যাইবে।

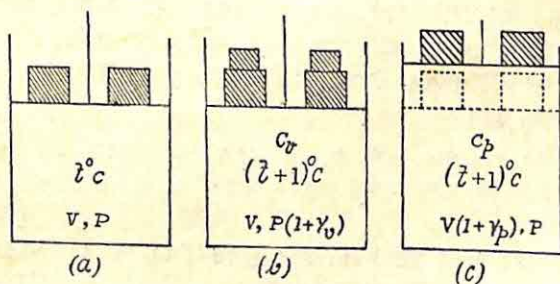
10-5. গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific heats of gases)।

গ্যাসে তাপ যোগ করিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি কতটা হইবে তাহা গ্যাসকে তাপ যোগের সময় প্রসারিত হইতে দেওয়া হইতেছে কি না বা কিভাবে প্রসারিত হইতে দেওয়া হইতেছে, তাহার উপর নির্ভর করে। প্রসারণের সময় বাহ্যচাপের বিরুদ্ধে গ্যাস কার্য করে। ইহার জন্য যে শক্তি দরকার তাহা প্রদত্ত তাপ হইতেই গ্যাস নেয়। কাজেই গ্যাসে তাপ যোগ করিলে তাহার এক অংশ গ্যাসের তাপ বৃদ্ধি করিবে ও এক অংশ গ্যাসের প্রসারণের শক্তি যোগাইবে। তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র $Q=U'+W$ (10-1.1 সমীকরণ) এখানে প্রযোজ্য।

কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলিতে উহার এক গ্রামকে এক সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণ করিতে কত ক্যালরি তাপের দরকার হয় তাহা বুঝায়। গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রসারণে কিছু শক্তি ব্যয় হইতে পারে বলিয়া আপেক্ষিক তাপের মান স্থির করিতে গ্যাসকে কিভাবে প্রসারিত হইতে দেওয়া হইতেছে তাহা বলিতে হইবে। প্রসারণ নানা ভাবে হইতে দেওয়া যায়; কাজেই গ্যাসের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপের মানও নানা রকম হইতে পারে। তাহা হইলেও গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ বিচারে আমরা প্রসারণের মাত্র দুইটি অবস্থার কথা ধরি। একটি হইল গ্যাসকে প্রসারিত হইতে দেওয়া হয় নাই, ও অন্যটি হইল গ্যাস স্থির চাপে প্রসারিত হইতেছে। অতএব গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ দুই ভাবে ধরা হয়—(১) স্থির আয়তনে ও (২) স্থির চাপে।

স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_v বলিতে আয়তন স্থির রাখিয়া (অর্থাৎ গ্যাসকে প্রসারিত হইতে না দিয়া) একগ্রাম গ্যাসকে এক সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণ করিতে যে তাপ দরকার হয় তাহা বুঝায়।

স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_p বলিতে স্থির বাহ্য চাপে গ্যাসকে প্রসারিত হইতে দিয়া এক গ্রাম গ্যাসকে এক সেলসিয়াস ডিগ্রী উষ্ণ করিতে যে তাপ দরকার হয় তাহা বুঝায়।

C_p রাশিটি C_v অপেক্ষা বড় হইবে কারণ C_v-র ক্ষেত্রে আয়তন স্থির থাকায় প্রসারণের জন্য কোন কার্য হয় নাই, অতএব সে জন্য তাপও যোগাইতে হয় নাই। প্রদত্ত তাপ এক গ্রাম গ্যাসের কেবল অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়াইয়াছে। C_p-র ক্ষেত্রে এক গ্রামের অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়ান ছাড়া প্রসারণের জন্য কৃত কার্যের তুল্যমান তাপও যোগাইতে হইয়াছে (10·3 চিত্র)। অতএব C_p C_v-র চেয়ে বড় হইবে।

চিত্র 10·3

C_p ও C_v-র সম্পর্ক। মনে কর কোন প্রদত্ত উষ্ণতা t°C-তে এক গ্রাম গ্যাসের আয়তন V ও চাপ P (10·3a চিত্র)। V স্থির রাখিয়া t এক ডিগ্রী বাড়াইলে যে তাপের দরকার হইবে তাহাই C_v। এ অবস্থায় গ্যাসের চাপ হইবে $P(1+\gamma_v)$(4-9.2 সমীকরণ ও 10·3b চিত্র দেখ)। উষ্ণতা $(t+1)$ °C-তে স্থির রাখিয়া গ্যাস প্রসারিত হইতে দিয়া চাপ $P(1+\gamma_v)$-র বদলে P-তে ফিরাইয়া আনিলে (10·3c চিত্র) দুই চাপ ও দুই আয়তনের সম্পর্ক বয়েল সূত্র অনুসারে হইবে $P(1+\gamma_v)V = PV' = PV(1+\gamma_p)$। এক্ষেত্রে আয়তন বৃদ্ধি $V'-V = V\gamma_v$ বা $V\gamma_p$। P স্থির চাপে

এই আয়তন বৃদ্ধি ঘটিয়াছে ধরিয়া, এবং আদর্শ গ্যাসে $\gamma_p = \gamma_v$ বলিয়া আমরা প্রসারণে কৃত কার্য $W = PV\gamma_p$ লিখিতে পারি। অতএব

$$C_p - C_v = PV\gamma_p \tag{10-5.1}$$

লক্ষ্য কর এই সমীকরণে V হইল P চাপে ও $t°C$ উষ্ণতায় এক গ্রাম গ্যাসের আয়তন এবং γ_p গ্যাসের স্থির চাপে আয়তন প্রসারণ গুণাংক। C_p ও C_v ক্যালরিতে এবং P, V, γ_p সিজিএস এককে প্রকাশিত হইলে $PV\gamma_p$ প্রকাশিত হইবে আর্গে। জুল তুল্যাংক J হইলে সমীকরণটির রূপ হয়

$$C_p - C_v = PV\gamma_p/J$$

এই সমীকরণের সাহায্যে J হিসাব করা যায়।

অনুশীলনী

1. 'তাপ এক প্রকার শক্তি' এই উক্তির সমর্থনে 15 হইতে 20টি বাক্যে যাহা বলিতে পার বল। উষ্ণতা ও তাপে প্রভেদই বা কি এবং সম্পর্কই বা কি? বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal energy)-র সঙ্গে তাপের কি সম্পর্ক? অণুর গতিশক্তির সঙ্গে উষ্ণতার কি সম্পর্ক?

2. 'তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক' কথাটির অর্থ কি? এই রাশিটির মান নির্ণয়ের জন্য কোন পরীক্ষা বর্ণনা কর। ইহার মান কত?

তাপ ও কার্য তুল্য রাশি। অতএব ইহাদের জন্য আলাদা এককের প্রয়োজন আছে কি না, এ সম্বন্ধে তোমার মতামত বল।

3. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক প্রতি ক্যালরিতে 4·2 জুল বলিতে কি বুঝায়?

জুলের তুল্যাংক বাহির করিতে 10 kg করিয়া দুইটি ওজন 20 বার 3m উচ্চতা হইতে পড়িতে দিলে ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় 0·4 C°। ক্যালরিমিটার ও উহার জলের জলসম 7 kg হইলে তুল্যাংক কত? [উ: $4{\cdot}2 \times 10^7$ erg/cal]

4. 100 g তামা (আপেক্ষিক তাপ = 0·1) কতখানি উচ্চতা হইতে পড়িলে উহার উষ্ণতা 1 C° বাড়িবে? তাপ সম্পূর্ণ ভাবে তামাতেই রহিয়াছে মনে কর। দেওয়া আছে $J = 4{\cdot}2$ joule/cal। তামার ভর বেশী হইলে উচ্চতা বেশী হইত কি না? [উ: প্রায় 43 m]

5. 1 m লম্বা একটি কাচের নলের উভয় প্রান্ত বন্ধ। উহার ভিতরে 250 g ওজনের সীসার গুলি আছে। নলের বাকী অংশ এক লিটার জলে ভরা। নলটি খাড়া রাখিয়া হঠাৎ উলটাইয়া দেওয়া হইল। কতবার এই রকম করিলে জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি 1 C° হইবে? জলের উর্ধ্বচাপ এবং সীসায় ও কাচে যে তাপ যায় তাহা উপেক্ষা কর। [উ: 1723 বার]

6. সীসার গুলি দৃঢ় কোন লক্ষ্যে আঘাত করায় গুলির উষ্ণতা 200 C° বাড়িল। সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·03। সৃষ্ট তাপ সম্পূর্ণ ভাবে সীসাতেই রহিয়া গিয়াছে ধরিলে গুলির বেগ কত হইবে? [উ: 224·5 m/s]

7. 10 kg ওজনের একটি বস্তু 1 km উপর হইতে নিচে পড়িল। উহার স্থিতিশক্তি সম্পূর্ণ ভাবে তাপে পরিণত হইলে কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে? [উ: $2{\cdot}33 \times 10^4$]

8. 336 m/s বেগে চলিয়া একটি সীসার গুলি দৃঢ় লক্ষ্যে আঘাত করিল। আঘাতে উৎপন্ন তাপের 75% গুলিতে থাকিলে, গুলির উষ্ণতা বৃদ্ধি কত? ($J = 4{\cdot}2$ joule/cal; সীসার আপেক্ষিক তাপ = 0·03) [উ: 336 C°]

9. J বাহির করিবার একটি পরীক্ষায় 1 m লম্বা খাড়া একটি কার্ডবোর্ডের নলে 800 g সীসার গুলি রাখিয়া নলটি 50 বার উলটান হইল। দেখা গেল সীসার উষ্ণতা 28·84 C° বাড়িয়াছে। সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·031 ও $g = 980$ cm/s²। উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণ ভাবে সীসায় রহিয়াছে ধরিলে J-র মান কত হইবে? [উ: $4{\cdot}12 \times 10^7$ erg/cal]

10. কোন জলপ্রপাত 300 m উঁচু। জলের স্থিতিশক্তির 50% তাপে পরিণত হইয়া তাপ সম্পূর্ণরূপে জলেই থাকিলে প্রপাতের উপরের ও নিচের জলে উষ্ণতার কত প্রভেদ হইবে? ($J=4{\cdot}2$ joule/cal)
[উ: 0·58 C°]

11. রামফোর্ডের একটি পরীক্ষায় একটি ঘোড়া 2·5 ঘণ্টায় 26·6 lb জলের উষ্ণতা 32°F হইতে 212°F-এ তুলিয়াছিল। উদ্ভূত তাপের 25% অপচয় হইয়াছিল ধরিলে ঘোড়াটি কি হারে কার্য করিয়াছে তাহা ft.lb/min এককে বাহির কর।
[উ: 33120 ft.lb/min]

12. কথিত আছে জুল বিবাহের পর সস্ত্রীক সুইডেন বেড়াইতে যাইবার সময় দুইটি সুবেদী থার্মমিটার সঙ্গে নিয়াছিলেন। উহা দিয়া কোন জলপ্রপাতের উপরে ও নিচে উষ্ণতা কত তিনি তাহা দেখেন। তিনি কি দেখিতে পাইবেন আশা করিয়াছিলেন? জলপ্রপাত 100 m খাড়া হইলে তাঁহার আশা অনুসারে কি ফল পাওয়া যাইত?

13. গ্যাসের সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ প্রসারণ কাহাদের বলে বুঝাইয়া বল।

14. গ্যাসের একাধিক আপেক্ষিক তাপ হইতে পারে কেন? C_p ও C_v চিহ্ন দুইটি গ্যাসের ক্ষেত্রে কি বুঝায়? উহাদের সংজ্ঞা দাও।

আদর্শ গ্যাসে C_p ও C_v-তে সম্পর্ক বাহির কর।

15. তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রটি সমীকরণের আকারে লেখ এবং একটি উদাহরণের সাহায্যে উহা ব্যাখ্যা কর।

16. একটি গুলি দৃঢ় লক্ষ্যে আঘাত করিয়া থামিয়া গেল এবং উষ্ণ হইল। এক্ষেত্রে তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র কি ভাবে প্রয়োগ করিবে?

[**সংকেত:** গুলির উপর কার্য করায় উহা $\frac{1}{2}mv^2=W$ শক্তি পাইয়াছে। থামিয়া যাওয়ায় এই শক্তির তুল্যমান অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়িয়াছে। এই শক্তি বৃদ্ধি U'। ইহাতে উষ্ণতা বৃদ্ধি t হইলে $U'=mst=Q$ পরিমাণ তাপ যোগের সমান। আলোচ্য ঘটনায় কোন তাপ যোগ হয় নাই; অতএব সূত্রের $Q=0$। বস্তুর উপর কার্য করা হইয়াছে বলিয়া W নিগেটিভ। অতএব 10-1.1 সমীকরণ এক্ষেত্রে হইয়া দাঁড়ায় $0=U'-W$ বা $W=U'=mst=Q$। Q ক্যালরিতে এবং W কার্যের এককে প্রকাশিত হইয়া থাকিলে $W/Q=J$ (জুলের তুল্যাংক)।]

পরিশিষ্ট

সংসদ প্রকাশিত

Teaching Guide-lines-এ (শিক্ষণ নির্দেশ ধারায়) উল্লিখিত বিষয়ের আলোচনা ও নমুনা প্রশ্নের উত্তর

[**সংকেতঃ** TGL = Teaching Guide-lines-এ উল্লিখিত বিষয় ;
Q(S) = নমুনা প্রশ্ন (Specimen Question) ;
মূল বই—ডি. পি. রায়চৌধুরী লিখিত ও কে. পি. বসু পাবলিশিং কোং প্রকাশিত "উচ্চ মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান"।]

প্রথম খণ্ড

সাধারণ নির্দেশ

TGL 1. উপযুক্ত যন্ত্র, ফিল্ম্, স্লাইড ইত্যাদির সাহায্যে প্রদর্শনীয় পরীক্ষাগুলি ছাত্রদের দেখাইবার যথাযথ ব্যবস্থা করিতে হইবে। শিক্ষক এ উদ্দেশ্যে নিজেও ব্যবস্থা উদ্ভাবন করিতে পারেন।

TGL 2. CGS একক ব্যবহার করা হইবে। SI এককের সঙ্গে উহাদের সম্পর্ক সংক্ষেপে উল্লেখ করিতে হইবে।

আলোচনা। SI এককের ব্যাপক ব্যবহার বাঞ্ছনীয়। 1960 সালে বিশুদ্ধ ও ফলিত পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়নের উচ্চতম আন্তর্জাতিক সংস্থাগুলি পৃথিবীর সর্বত্র সকল প্রকার বৈজ্ঞানিক মাপনে SI একক ব্যবহারের সুপারিশ করেন। বিজ্ঞানে অগ্রসর দেশগুলি ইহা গ্রহণ করিয়াছে। ভারতের অন্যত্রও স্কুলপাঠ্য বইগুলিতে SI একক ব্যবহার হইতেছে। কিন্তু পশ্চিমবঙ্গে আমরা একেবারে পিছাইয়া আছি।

SI এককের কথা মূল বই-এ প্রথম খণ্ডের [XVIII] পৃষ্ঠায় বলা হইয়াছে। বর্তমানে উহাতে সামান্য পরিবর্তন করা হইয়াছে। উষ্ণতার একক 'কেলভিন'; ডিগ্রী কথাটি উহা হইতে বাদ দেওয়া হইয়াছে। দৈর্ঘ্যের একক যেমন মিটার, উষ্ণতার একক তেমন কেলভিন। উষ্ণতার ব্যবধান (temperature interval) বুঝাইতে °K বা °C ব্যবহার করিতে বলা হইয়াছে; উভয়ে একই, কারণ ব্যবধান বুঝাইতে উষ্ণতার শূন্যমাত্রা কোথায় নেওয়া হইয়াছে তাহা বলার কোন দরকার নাই।

TGL 3. ভৌতরাশির এককগুলির উপর বিশেষ জোর দিতে হইবে।

মন্তব্য। ইহা অত্যন্ত প্রয়োজনীয় কারণ ভৌত রাশি = সংখ্যা × একক। এককের উল্লেখ না থাকিলে উহা অর্থহীন। এককহীন রাশি বা অশুদ্ধ একক বিশিষ্ট রাশি পরীক্ষার প্রশ্নপত্রেও দেখা যায়। 'বরফের লীনতাপ 80'—ইহা কোন বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রশ্নে পাওয়া গিয়াছে। সংসদের নমুনা প্রশ্নের এক জায়গায় R = 2 Cal দেওয়া আছে। উহা অশুদ্ধ একক। এককের শুদ্ধ ব্যবহারে আমরা উদাসীন, ইহা তাহারই প্রমাণ।

TGL 4. মূলতত্ত্বগুলি ও মৌলিক সমীকরণগুলির প্রয়োগ বুঝাইয়া যথেষ্ট অঙ্ক করিতে হইবে।

বলবিজ্ঞান

Q(S) 1. গড় ও তাৎক্ষণিক ত্বরণে প্রভেদ বল। বলবিজ্ঞানে উহাদের কোন্‌টি বেশী দরকারী।

উঃ। মূল বই-এর 'বলবিজ্ঞান' অংশের 2 পৃষ্ঠা দেখ। s-এর বদলে v (বেগ) ধরিও। তাৎক্ষণিক ত্বরণ বেশী দরকারী।

বেগ-কাল রেখাচিত্র (Velocity-Time Graph)। সময় (বা কাল)-কে ভুজ করিয়া ও তাৎক্ষণিক বেগকে কোটি করিয়া যে গ্রাফ আঁকা হয় তাহাকে বেগ-কাল গ্রাফ বলে। এই গ্রাফ হইতে অনেক তথ্য পাওয়া যায়।

(১) বেগ-কাল গ্রাফ ভুজের (কাল-অক্ষের) সমান্তরাল হইলে বেগ সুষম।

(২) বেগ-কাল গ্রাফ ঊর্ধ্বমুখী সরলরেখা হইলে ত্বরণ সুষম। (কেন ?)

(৩) বেগ-কাল গ্রাফ নিম্নমুখী সরলরেখা হইলে মন্দন সুষম। (কেন ?)

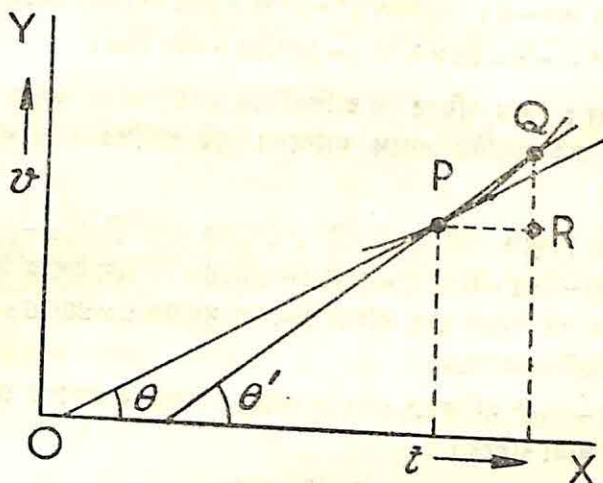
(৪) বেগ-কাল গ্রাফ উপর দিকে হইতে দেখিতে অবতল ঊর্ধ্বমুখী বক্ররেখা হইলে ত্বরণ ক্রমশ বাড়িতেছে। (কেন ?)

(৫) বেগ-কাল গ্রাফ উপর দিক হইতে দেখিতে উত্তল নিম্নমুখী বক্ররেখা হইলে ত্বরণ ক্রমশ কমিতেছে। (কেন ?)

(1978-এর পরীক্ষার 1 (c) প্রশ্ন দেখ।)

Q(S) 2. বেগ-কাল গ্রাফের যে কোন বিন্দুতে স্পর্শকের নতি ঐ মুহূর্তের তাৎক্ষণিক ত্বরণের সমান, ইহা প্রমাণ কর।

উঃ। I-1 ছবিতে বাঁকা রেখা বেগ-কাল গ্রাফের অংশ বিশেষ। P ও Q উহার উপরস্থ দুইটি বিন্দু। PR t-অক্ষের সমান্তরাল। PR অবসরে বেগ RQ পরিমাণ বাড়িয়াছে। $QR/PR = \tan\theta'$, P ও Q-র মধ্যে গড় ত্বরণ। Q বিন্দুকে

ক্রমশ সরাইয়া P-র খুবই কাছে আনিলে PQ রেখা কার্যত P বিন্দুতে বক্রের স্পর্শক হয় এবং $\tan\theta$-র মান হয় P বিন্দুতে তাৎক্ষণিক ত্বরণের মান।

চিত্র I. 1

Q(S) 3. **(a)** কোন প্রকার বাধা না পাইলে কোন বস্তু উপর হইতে কি ভাবে পড়িবে তাহা আলোচনা কর।

(b) স্থির অবস্থা হইতে কোন বস্তুকে বিনা বাধায় পড়িতে দেওয়া গেল। 1, 2, 3 ও 4 সেকেণ্ড পরে উহার বেগ ও অবস্থান কি হইবে হিসাব কর।

উঃ। **(a)** (মূল বইয়ের 'বলবিজ্ঞান' অংশের 6 পৃষ্ঠার প্রথম দুই প্যারা ও 'পদার্থের ধর্ম' অংশের 4 পৃষ্ঠার 1-6 ও 1-7 বিভাগ দেখ।)

(b) ('পদার্থের ধর্ম' অংশের 6 পৃষ্ঠার 1-8, 1-8.1 ও 1-8.2 বিভাগগুলি দেখ।) বস্তুটি g ত্বরণে পড়ে বলিয়া উহার বেগ প্রতি সেকেণ্ডে g পরিমাণ বাড়ে। t সময় পরে উহার বেগ gt। $g=9{\cdot}8\text{m/s}^2$ ধরিলে 1 সেকেণ্ডে বেগ $v_1=9{\cdot}8\text{m/s}$; 2 সেকেণ্ডে $v_2=2\text{s}\times9{\cdot}8\text{m/s}^2=19{\cdot}6\text{m/s}$; 3 সেকেণ্ডে $v_3=3\text{s}\times9{\cdot}8\text{m/s}^2=29{\cdot}4\text{m/s}$, 4 সেকেণ্ডে বেগ $v_4=4\text{s}\times9{\cdot}8\text{m/s}^2=39{\cdot}2\text{m/s}$।

অবস্থান পাইতে $h=\frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণ প্রযোজ্য হইবে। $h=$ পতনবিন্দু হইতে নিচের দিকে দূরত্ব। $t=1, 2, 3, 4$ সেকেণ্ড ধরিয়া পাওয়া যায় $h_1=\frac{1}{2}\times9{\cdot}8(\text{m/s}^2)\times(1\text{s})^2=4{\cdot}9\text{m}$; $h_2=19{\cdot}6\text{m}$; ইত্যাদি।

Q(S) 4. একটি ঢিল উপরের দিকে 50ft/s বেগে ছোড়া হইল। উহা কতদূর উঠিবে? মাটিতে কখন পড়িবে? উৎক্ষেপের 9/8 s পরে উহা কোথায় থাকিবে?

উঃ। (মূল বইয়ের 'বলবিজ্ঞান' অংশের 6 পৃষ্ঠায় তৃতীয় প্যারা ও তাহার নিচের প্রশ্নগুলি দেখ। কিছু বলা না থাকিলে এফ পি এস পদ্ধতিতে $g=32\text{ft/s}^2$

ধরা হয়, SI (বা এম কে এস) পদ্ধতিতে $g = 9{\cdot}8 \text{m/s}^2$, এবং সি জি এস পদ্ধতিতে $g = 980 \text{ cm/s}^2$।)

উর্ধ্বতম বিন্দুতে বেগ $= 0$। অতএব $v^2 - u^2 = -2gh$ সমীকরণ হইতে পাই

$0 - 50^2 = -2 \times 32 \times h$ বা $h = 50^2/64 =$ প্রায় 39ft।

[**মন্তব্য :** অঙ্ক করিতে সব রাশিগুলিকে একই পদ্ধতির এককে নিতে হইবে। তখন উত্তরও সেই পদ্ধতির এককে আসিবে। দুই পদ্ধতির একক কখনও মিশাইয়া ফেলিবে না।]

উর্ধ্বতম বিন্দুতে উঠিতে ঢিলটি T সেকেণ্ড সময় নিলে $u - gT = v$ সমীকরণ হইতে পাই $50 - 32T = 0$ বা $T = 50/32 = 25/16$ s। ঢিল উপরে উঠিতে যে সময় নেয়, পড়িতেও সেই সময়ই নেয় বলিয়া উৎক্ষেপ মুহূর্তের $2 \times 25/16 \text{ s} = 25/8$ s পরে উহা মাটিতে ফিরিয়া আসিবে।

$h = ut - \frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণে $t = 9/8$ বসাইলে ঢিলটি উৎক্ষেপের 9/8 s পরে কত উঁচুতে আছে জানা যাইবে।

$h = 50 \times (9/8) - \frac{1}{2} \times 32 \times (9/8)^2 = 36\text{ft}$।

অনুরূপ অতিরিক্ত প্রশ্ন। (পদার্থের ধর্ম, 6 পৃষ্ঠা, 1-8.1 ও 1-8.2 বিভাগ।)

1. u বেগে খাড়া উপরের দিকে ঢিল ছুড়িলে উহা যদি H উচ্চতা পর্যন্ত উঠিতে পারে, তাহা হইলে প্রমাণ কর $H = u^2/2g$।

2. উর্ধ্বতম বিন্দুতে উঠিতে ঢিল T সময় নিলে প্রমাণ কর $T = u/g$।

3. ঢিলের উঠিতে যে সময় লাগে পড়িতেও সেই একই সময় লাগে, ইহা প্রমাণ কর। (**সংকেত**—H উচ্চতা হইতে পড়িতে T_1 সময় লাগিলে $H = u^2/2g = \frac{1}{2}gT_1^2$ বা $T_1 = u/g$। উঠিতেও এই সময়ই লাগে।)

4. u বেগে উর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত বস্তু ওঠার পথে যে কোন বিন্দুতে দুইটি বিভিন্ন মুহূর্তে থাকিতে পারে। উৎক্ষেপের পর t সময়ে ইহা হইয়া থাকিলে প্রমাণ কর ওঠার সময় $t = (u - \sqrt{u^2 - 2gh})/g$ এবং উঠিয়া আবার নিচে নামার পথে

$$t = (u + \sqrt{u^2 - 2gh})/g \text{।}$$

সংকেত—বিন্দুর উচ্চতা h হইলে $(h < H)$, $h = ut - \frac{1}{2}gt^2$। এই দ্বিঘাত সমীকরণ হইতে t-র উপরের মান দুটি পাওয়া যাইবে।)

5. 4নং প্রশ্নে ঐ বিন্দুতে বেগ $v = \pm\sqrt{u^2 - 2gh}$। বেগের দুইটি মান কেন হয়, এবং + ও − চিহ্নের অর্থ কি বল।

Q(S) 5. **(a)** বেগ, ত্বরণ, স্কেলার, ভেকটর—কথাগুলির অর্থ বুঝাও। চারটি ভেকটর ও চারটি স্কেলার রাশির নাম কর।

(b) 7 ও 9 dyne মানের দুইটি বল একই বিন্দুতে 60° কোণে প্রয়োগ করিলে উহাদের লব্ধি কত হইবে?

(c) দুইটি অসম মানের ভেকটরের লব্ধি শূন্য হইতে পারে? তিনটির পারে? সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর।

(d) স্কেলার রাশির মান নির্দেশ-ফ্রেমের উপর নির্ভর করিতে পারে কিনা বুঝাও।

উঃ। (a) (বই দেখিয়া উত্তর দাও)

(b) ('বলবিজ্ঞান' অংশের 9 পৃষ্ঠায় 1-5.1 সমীকরণ দেখ।)

(c) [ঐ অংশের 10 পৃষ্ঠায় ভেকটর যোগ করার জ্যামিতিক উপায় (1-5.1 বিভাগ) দেখ।] দুইটি অসমান ভেকটরে লব্ধি থাকিয়া যাইবে। তিনটি ভেকটর বদ্ধ ত্রিভুজ গঠন করিতে পারিলে উহাদের লব্ধির মান শূন্য হইবে। (বই-এর 50 পৃষ্ঠায় তিনটি বলের ক্রিয়া দেখ।)

(d) স্কেলার বা ভেকটর—কোন রাশির মানই নির্দেশ-ফ্রেমের উপর নির্ভর করে না। ভেকটরের দিক আছে বলিয়া বিভিন্ন নির্দেশ ফ্রেমে উহার উপাংশগুলি বিভিন্ন হইবে ; কিন্তু ভেকটরের মান ঠিক থাকিবে।

স্কেলার রাশির দিক নাই। সুতরাং নির্দেশ-ফ্রেমের উপর নির্ভর করার মত উহার কোন বৈশিষ্ট্য নাই।

TGL 1. $F=ma$ সমীকরণে দুইটি বিষয়ের উপর জোর দিতে হইবে :

(i) ইহা হইতে বলের মান পাওয়া যায়।

(ii) ইহা হইতে গতির সমীকরণ পাওয়া যায়।

দৈনন্দিন জীবনে নিউটনের সূত্রগুলির প্রয়োগের উপর জোর দিতে হইবে। উদাহরণস্বরূপ ঘোড়ায় গাড়ি টানা ও হাঁটার ক্ষেত্রে নিউটন সূত্রের প্রয়োগ একটু বিশদ ভাবে আলোচনা করা যাইতে পারে।

আলোচনা। (পুরানো বইগুলিতে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রের সমীকরণ সাধারণত $P=mf$ রূপে লেখা হয়। আন্তর্জাতিক সংস্থাগুলি যেমন SI এককের নির্দেশ দিয়াছেন, তেমনই বিভিন্ন ভৌতরাশির চিহ্নের (symbol) ব্যাপারে ঐক্য আনার জন্যও কোন্ রাশি বুঝাইতে কি চিহ্ন ব্যবহার করা হইবে তাহাও বলিয়াছেন। বল বুঝাইতে F এবং ত্বরণ বুঝাইতে a তাহাদের নির্দেশ।)

(iii) গতির সমীকরণগুলি অবকল সমীকরণ (Differential equation)। $s=$ দূরত্ব, $v=$ বেগ, $a=$ ত্বরণ, $t=$ কাল হইলে,

$$v=\frac{ds}{dt},\ a=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2s}{dt^2}\text{।}\quad F=m\frac{d^2s}{dt^2}\ \text{গতির সমীকরণ।}$$

ইহার সমাধানে v ও s-এর সঙ্গে t-র সম্পর্ক পাওয়া যায়।

(**মন্তব্য**—নিউটনের তৃতীয় সূত্র প্রয়োগের সময় মনে রাখিতে হইবে ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বিভিন্ন বস্তুর উপর কাজ করে বলিয়া ক্রিয়ায় ও প্রতিক্রিয়ায় মিলিয়া সাম্য

হইতে পারে না। হইলে তো কোন অবস্থায় গতিই সম্ভব হইত না! 'বলবিজ্ঞান' অংশের 21 পৃষ্ঠায় 1-7-5 বিভাগ দেখ।)

(ক) ঘোড়ায় গাড়ি টানা। ধরা যাক ঘোড়া গাড়ির উপর T টান প্রয়োগ করে। ভূমির সঙ্গে ঘর্ষণ গাড়ির উপর গতির বিপরীতে R বল প্রয়োগ করে। উদ্বৃত্ত $T-R$ বল গাড়িকে ত্বরণ দেয়।

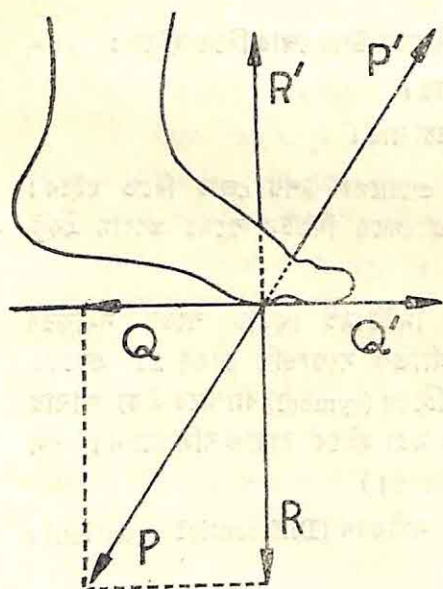
গাড়ি ঘোড়ার উপরে প্রতিক্রিয়া জনিত যে T বল প্রয়োগ করে তাহা ঘোড়ার গতিতে বাধা দেয় মাত্র। ঘোড়া পা দিয়া ভূমিকে পিছনের দিকে ঠেলে। ইহাতে ভূমির প্রতিক্রিয়া ঘোড়ার উপর উহার বাঁকান পা বরাবর তেরছাভাবে সামনের দিকে ক্রিয়া করে। এই প্রতিক্রিয়ার অনুভূমিক উপাংশ H ঘোড়াকে গতি দেয়। গাড়ির প্রতিক্রিয়া T ইহার বিপরীতে থাকায় ঘোড়ার উপর কার্যকর বল হয় $H-T$। ইহাই ঘোড়াকে ত্বরণ দেয়।

(খ) হাঁটা। হাঁটার সময় আমরা এক পায় ভর দিয়া সামনের দিকে ঝুঁকিয়া অন্য পা আগাইয়া দেই। এই ক্রিয়াগুলি পেশীর সাহায্যে হয়। পেশীর ক্রিয়া আলোচনা অত্যন্ত জটিল এবং আমাদের দরকারও নাই।

সামনে ঝোঁকার সময় আমরা মাটিতে ঠেকান পা সামনের দিকে বাঁকাই। ইহাতে মাটির উপর একটি তেরছা বল P প্রযুক্ত হয় (পাশের ছবি)। মাটি লোকটির উপর সমান ও বিপরীত বল P' প্রয়োগ করে। এই বলের খাড়া উপাংশ R' ওজন প্রতিমিত করে। উহার অনুভূমিক উপাংশ Q' লোকটিকে সামনের দিকে গতি দেয়।

চিত্র I. 2

Q(S) 6. **(a)** নিউটনের সূত্রগুলি বল।

(b) গতির দ্বিতীয় সূত্র হইতে প্রথম সূত্রটি পাওয়া যায় ইহা দেখাও।

(c) লিফ্‌টের মেজেয় রাখা ওজন করার যন্ত্রের উপর একজন লোক দাঁড়াইয়া আছে। লিফ্‌ট স্থির থাকিলে উহার পাঠ 150 lb হয়। লিফ্‌ট উপরের দিকে (ক) সুষম বেগে, (খ) 4ft/s^2 সুষম ত্বরণে চলিলে কোন্ ক্ষেত্রে উহার পাঠ কত হইবে? ($g=32 \text{ft/s}^2$ ধর।)

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান' অংশের 15 পৃষ্ঠায় 1-7 বিভাগ দেখ।)

(b) দ্বিতীয় সূত্রে বলে ভরবেগ পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক।

অতএব ভরবেগের পরিবর্তন না হইলে কোন বল ক্রিয়া করিতেছে না। ভরবেগের পরিবর্তন না হওয়া দুই ভাবে ঘটিতে পারে—(১) ভরবেগ শূন্যই ছিল, অর্থাৎ বস্তুটির বেগ ছিল না, অথবা (২) ভরবেগ যাহা ছিল তাহাই রহিল, অর্থাৎ বস্তুটির বেগ একই রহিয়া গেল।

ইহা হইতে সিদ্ধান্ত করা যায় বাহির হইতে বল ক্রিয়া না করিলে স্থির বস্তু (বেগ $=0$) স্থিরই থাকিবে এবং সচল বস্তু বেগ অপরিবর্তিত রাখিয়া (অর্থাৎ সুষম বেগে) চলিতে থাকিবে। —ইহাই প্রথম সূত্র।

(c) ('বলবিজ্ঞান' অংশের 22 পৃষ্ঠার 1-7.6 বিভাগ দেখ।)
লোকটির ওজন 150 lb। (ক) ওজনযন্ত্র ও লোকটি সুষমবেগে চলিতেছে বলিয়া বাহির হইতে উহাদের উপর কোন অপ্রতিমিত (unbalanced) বল ক্রিয়া করে না। ওজনযন্ত্রের উপর যে বল ছিল তাহাই আছে। অতএব উহার পাঠের কোন পরিবর্তন হইবে না।

(খ) ওজনযন্ত্রের মাধ্যমে লোকটি উপরের দিকে 4ft/s^2 ত্বরণ পাইতেছে। অতএব সে প্রতিক্রিয়ায় ওজনযন্ত্রের উপর $150 \text{ lb} \times 4 \text{ft/s}^2$ পাউণ্ডাল বেশী বল প্রয়োগ করিবে। এই বল $=(150 \text{ lb} \times 4\text{ft/s}^2) \div 32\text{ft/s}^2 = 150/8$ পাউণ্ড ওজনের সমান। অতএব যন্ত্রের পাঠ $150/8$ lb বাড়িয়া $150(1+\frac{1}{8}) = 168\frac{3}{4}$ পাউণ্ড হইবে।

Q(S) 7. ঘোড়া গাড়ি টানিলে গাড়িও ঘোড়াকে সমান বলে টানে। ইহাতে গাড়ি চলে কিরূপে ?

উঃ। (TGL 1-এর 'ক' অংশে ইহার উত্তর দেওয়া হইয়াছে)।

Q(S) 8. বস্তুর 'ভর' উহাতে 'পদার্থের পরিমাণ' বুঝায়—এই উক্তিটির সংক্ষিপ্ত সমালোচনা কর।

উঃ। 'পদার্থের পরিমাণ' বলিলে উহা মাপিবার কোন একটা উপায় থাকা দরকার। পদার্থের জাড্য (Inertia) আছে বলিয়া আমরা জানি। জাড্যের জন্য একই বল বিভিন্ন 'পদার্থের পরিমাণ' বিশিষ্ট বস্তুর উপর ক্রিয়া করিলে উহারা বিভিন্ন ত্বরণ পায়। অতএব বিভিন্ন বস্তুতে একই বল প্রয়োগ করিয়া বল/ত্বরণ (F/a) যে অনুপাত পাই, তাহাকে ঐ বস্তুতে পদার্থের পরিমাণের মান (measure) বলিয়া ধরিতে পারি। এই অনুপাতকে ভর (বা জড়ত্বীয় ভর) বলে।

Q(S) 9. **(a)** সুষম বেগে চলন্ত রেলগাড়িতে বসিয়া একটি ছেলে একটি বল খাড়া উপরে ছুড়িয়া দিল। বলটি তাহার সামনে, পিছনে, কি হাতে পড়িবে সংক্ষেপে কারণ দেখাইয়া বল।

(b) চলার দিকে গাড়ির ত্বরণ থাকিলে, বা গাড়ি বাঁক নিলে বলটি কোথায় পড়িবে ?

উঃ। **(a)** গতি জাড্যের জন্য সম্মুখের দিকে উভয়ের বেগ একই। কাজেই বলটি ছেলেটির সঙ্গে সমান বেগে চলিয়া তাহার হাতেই ফিরিয়া আসিবে।

('বলবিজ্ঞান' অংশের 16 পৃষ্ঠার (1) নং প্রশ্ন দেখ।)

(b) গাড়ি ত্বরণে আগাইতে থাকিলে বলের চেয়ে বেশী বেগ পাইবে। অতএব বল ছেলেটির পিছনে পড়িবে।

গতি জাড্যের জন্য বল সোজা চলে বলিয়া গাড়ি বাঁক নিলে উহা যে দিকে বাঁকিল বলটিকে তাহার বিপরীত দিকে সরিতে দেখা যাইবে।

Q(S) 10. **(a)** চলন্ত রেলগাড়ি থামিতে চাহিলে আরোহী সামনের দিকে ঝুঁকিয়া পড়েন কেন? গাড়ি হঠাৎ চলিতে শুরু করিলে আরোহী পিছনের দিকে হেলিয়া পড়েন কেন?

(b) গাড়ী সুষম বেগে বাঁক নিলে আরোহীর কি হইবে?

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান' অংশের 16 পৃষ্ঠায় তৃতীয় প্যারা দেখ।)

(b) আরোহীর উপর অপকেন্দ্র (centrifugal) বল ক্রিয়া করে। ইহার জন্য আরোহী গাড়ির বাঁকের বক্রতা কেন্দ্রের বিপরীত দিকে বলের ক্রিয়া অনুভব করিবেন।

('বলবিজ্ঞান' অংশের 45 পৃষ্ঠার প্রথম প্যারা দেখ।)

TGL 2. ভরবেগ সংরক্ষণ। যে বস্তুতন্ত্র বা বস্তুসংহতিতে (System of bodies-এ) ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে, তাহা অবশ্যই **'বদ্ধতন্ত্র (closed system)'** হইবে—এই কথাটির উপর জোর দিতে হইবে।

আলোচনা। আলোচ্য বিষয়ের অন্তর্গত এক বা একাধিক বস্তুকে কল্পনায় একটি বদ্ধ তল দিয়া ঘেরা মনে করিতে হইবে। এই তল এমন যে ইহার ভিতরের বস্তুগুলির সঙ্গে বাহিরের কোন বস্তুর কোন ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া নাই। কল্পিত বদ্ধতলে ঘেরা এরূপ বস্তুতন্ত্রকে 'বদ্ধতন্ত্র' বলে। এরূপ তন্ত্র 'বিচ্ছিন্ন বস্তুসংহতি' (Isolated system of bodies) বা 'কেবল বস্তুসংহতি' বা 'বস্তুতন্ত্র' নামেও পরিচিত।

রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ (ও শক্তি সংরক্ষণ) কেবল বদ্ধতন্ত্র সম্বন্ধে প্রযোজ্য। ('বলবিজ্ঞান' অংশের 23 পৃষ্ঠার 1-8 বিভাগ ও পাদটীকা (Foot note) দ্রষ্টব্য।)

Q(S) 11. **(a)** ভরবেগ ও গতিশক্তিতে প্রভেদ কি? শক্তিসংরক্ষণ সূত্র ও (রৈখিক) ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র বল।

(b) দেওয়ালে একটি বল ছুড়িয়া দিলে উহা ফিরিয়া আসে। এই ঘটনায় ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র কিভাবে প্রযুক্ত হইয়াছে বল?

উঃ। **(a)** (প্রভেদ বুঝাইতে কেবল সংজ্ঞা দিলেই চলিবে। দ্বিতীয় অংশের জন্য 'বলবিজ্ঞান' অংশের 23 ও 62 পৃষ্ঠা দেখ।)

(b) একা বলটি বদ্ধতন্ত্র নয় ; বল ও দেওয়ালে মিলিয়া বদ্ধতন্ত্র এবং এই বদ্ধতন্ত্রে ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে। দেওয়ালে আঘাত করায় বলের ভরবেগ নষ্ট হইল।

এই ভরবেগ পরিবর্তনে দেওয়ালে বল প্রযুক্ত হয়। দেওয়াল বলের উপর সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ। দুই বলের ঘাত (Impulse) সমান ও বিপরীত। বলের ঘাত=ভরবেগ পরিবর্তন। এইভাবে দেওয়াল ও বলে মিলিয়া যে বদ্ধতন্ত্র তাহাতে ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রযুক্ত হয়।

(বলের (ball) আদি ভরবেগ নষ্ট হওয়ায় উহা দেওয়ালে বল (force) প্রয়োগ করে। দেওয়ালের প্রতিক্রিয়ার ঘাত বলটিকে ফিরিয়া আসার ভরবেগ দেয়।)

Q(S) 12. **(a)** আপেক্ষিক বেগ কাহাকে বলে? একটি বস্তু সাপেক্ষে অন্য একটি বস্তুর আপেক্ষিক বেগ বাহির করার উপায় ব্যাখ্যা কর।

(b) গাড়ি v বেগে অনুভূমে চলিতেছে। বৃষ্টির জলকণা খাড়াভাবে v বেগে পড়িতেছে। গাড়ির খাড়া দেওয়ালে উহা কি কোণে পড়িবে?

(c) একখানা লঞ্চ 12mi/hr বেগে উত্তর দিকে যাইতেছে। আর একখানা লঞ্চ 12·2mi/hr বেগে ঠিক উত্তর পশ্চিম দিকে যাইতেছে। প্রথমখানা সাপেক্ষে দ্বিতীয় খানার বেগ কত?

(d) সুষমবেগে চলন্ত রেলগাড়ির কামরা হইতে একটি ছেলে একটি ঢিল কামরার বাহিরে ছাড়িয়া দিল। ছেলেটি ঢিল কিভাবে পড়িতেছে বলিয়া দেখিবে? বাহিরে দাঁড়ান কোন দর্শক উহা কিভাবে পড়িতে দেখিবেন?

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান' অংশের 13 পৃষ্ঠার 1-6 বিভাগ দেখ।)

(b) 45°।

(c) দক্ষিণমুখী 12 মানের ভেকটরের সঙ্গে উত্তর-পশ্চিমমুখী 12·2 মানের ভেকটর উপাংশ বিভাজনের সাহায্যে (বইয়ের 11 পৃষ্ঠার 1-5.2 বিভাগ) যোগ কর। আপেক্ষিক বেগ=প্রায় 9·2 mi/hr। ইহার দিক পশ্চিমের সঙ্গে দক্ষিণ দিকে প্রায় $\tan^{-1} 0{\cdot}4$ কোণ করে।

(d) ছেলেটি ঢিলটিকে খাড়াভাবে নিচে পড়িতে দেখিবে, কারণ উভয়ের অনুভূমিক বেগ সমান। (বায়ুর বাধার জন্য আসলে এরূপ হইবে না; ঢিলটি পিছাইয়া পড়িবে)।

বাহিরের দর্শকের কাছে ঢিলটির একসঙ্গে দু রকম গতি আছে। একটি উহার সুষম অনুভূমিক বেগের জন্য; অন্যটি উহার নিচমুখী সুষম ত্বরণের জন্য। দুই গতির যুক্ত ক্রিয়ায় উহার পথ প্যারাবোলার এক শাখার মত হয়।

TGL 3. স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ। ভরবেগ ও শক্তি সংরক্ষণ সূত্রের সাহায্যে প্রমাণ করিতে হইবে "সংঘর্ষের আগে কাছে আসিবার আপেক্ষিক বেগ সংঘর্ষের পরে দূরে সরিবার আপেক্ষিক বেগের সমান"।

আলোচনা। 'বলবিজ্ঞান' অংশের 25 পৃষ্ঠায় ইহা করা হইয়াছে (1-8·5 সমীকরণ)।

Q(S) 13. মসৃণ টেবিলে চলিয়া একটি বল সমান ভরের স্থির একটি বলকে সোজা রেখায় ধাক্কা দিল। ধাক্কার ফলে প্রথমটি থামিবে ও দ্বিতীয়টি প্রথমটির বেগ নিয়া চলিবে কেন ব্যাখ্যা কর।

উঃ। ('বলবিজ্ঞান' অংশের 26 পৃষ্ঠার 1-8·10 সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করিয়া দেখাও।)

TGL 4. জেট ও রকেট। ত্বরণের উপর ভর হ্রাসের ক্রিয়া সংক্ষেপে আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। জেট ও রকেটে জ্বালানী উহাদের সঙ্গেই থাকে, এবং সাধারণত একটা নির্দিষ্ট হারে জ্বালানী পোড়ান হইতে থাকে। ইহাতে ক্রিয়াশীল বল (Thrust) ঠিক থাকে, কিন্তু ভর ক্রমশ কমিতে থাকে। বল সমান থাকায় এবং ভর কমিতে থাকায় ত্বরণ বাড়িয়া চলে। যতক্ষণ না জ্বালানী শেষ হয় ততক্ষণ পর্যন্ত ত্বরণ বাড়ে। অতএব রকেট ক্রমবর্ধমান বেগে চলিতে থাকে। ('বলবিজ্ঞান'; 24 পৃষ্ঠা)

TGL 5. ঘর্ষণ। (ক) উদাহরণ ও পরীক্ষার সাহায্যে ইহা বুঝাইতে হইবে। এগুলিতে যেন ঘর্ষণ থাকার সুবিধা ও অসুবিধা দুই-ই বোঝা যায়। গড়ান ঘর্ষণের (Rolling friction-এর) উল্লেখ করিতে হইবে; যান্ত্রিক ব্যাপারে উহার সুবিধা বুঝাইতে হইবে।

(খ) **সংরক্ষী বল (Conservative force)** ও **অবক্ষয়ী বল (Dissipative force)**—ইহাদের প্রভেদ দেখাইতে হইবে।

আলোচনা। (ক) (ঘর্ষণ—'বলবিজ্ঞান'; 27 পৃষ্ঠার 1-9 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

(খ) কোন তলের উপর দিয়া কোন বস্তু টানিয়া নিতে সব সময়ই **ঘর্ষণের বিরুদ্ধে** কার্য করিতে হয়। এই কার্য তাপে পরিণত হয়। ক বিন্দু হইতে খ বিন্দুতে সরাইলেও ঘর্ষণের বিরুদ্ধে করা কার্য তাপে পরিণত হইবে; আবার খ বিন্দু হইতে ক বিন্দুতে ফিরাইয়া আনিতেও একই ব্যাপার হইবে। কোন ক্ষেত্রেই করা কার্যকে আমরা আবার কার্যরূপে ফিরিয়া পাই না। যে প্রকার বলের বিরুদ্ধে করা কার্যকে আর কার্যরূপে ফিরাইয়া পাওয়া যায় না তাহাকে **অবক্ষয়ী বল (Dissipative force)** বলে। ঘর্ষণ অবক্ষয়ীবল।

যে প্রকার বলের বিরুদ্ধে করা কার্য আবার কার্যরূপেই ফিরিয়া পাওয়া যায় তাহাকে **সংরক্ষী বল (Conservative force)** বলে। অভিকর্ষ সংরক্ষী বল। অভিকর্ষের বিরুদ্ধে m ভর h উচ্চতায় তুলিলে mgh কার্য হয়। বস্তুটির স্থিতিশক্তি এই পরিমাণ বাড়ে। উহাকে পড়িতে দিলে আবার mgh পরিমাণ কার্য ফিরিয়া পাওয়া যায়। মহাকর্ষীয় বল, বৈদ্যুতিক ও চৌম্বক আকর্ষণ ও বিকর্ষণের বল, সরল দোলনে কণায় প্রযুক্ত বল—ইহারা সকলে সংরক্ষী বল।

Q(S) 14. **(a)** ঘর্ষণ গুণাংকের সংজ্ঞা দাও। ইহা মাপিবার একটি উপায় বর্ণনা কর।

(b) 100 lb ওজনের একটি কাঠের বাক্স পাথরের মেজের উপর দিয়া 45 lbf অনুভূমিক বলে টানিয়া নেওয়া হইতেছে। স্থির অবস্থা হইতে 200 ft যাইতে কত সময় লাগিবে ? (ঘর্ষণ গুণাংক = 0·4)

(c) জমিয়া বরফ হওয়া হ্রদের উপর দিয়া হাঁটা যায়না কেন সংক্ষেপে বল।

(d) পুকুরের সম্পূর্ণ মসৃণ জমা বরফের উপর থাকিলে পারে কিভাবে যাইতে পারা যায় ?

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান', 29 পৃষ্ঠা, 1-9.1 সমীকরণ ও 31 পৃষ্ঠা, 1-9.3 বিভাগ দেখ।)

(b) ঘর্ষণের বল = অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া × ঘর্ষণ গুণাংক

$= 100 \text{ lbf} \times 0{\cdot}4 = 40 \text{ lbf}$ ।

কার্যকর বল $= 45 \text{ lbf} - 40 \text{ lbf} = 5 \text{ lbf} = 5 \times 32$ poundal

ত্বরণ $a = 160 \text{ poundal}/100 \text{ lb} = 1{\cdot}6 \text{ ft/s}^2$ ।

স্থির অবস্থা হইতে এই ত্বরণে 200 ft যাইতে সময় t সেকেণ্ড হইলে,

$200 = \frac{1}{2} \times 1{\cdot}6 \times t^2$ বা $t^2 = 250$ বা $t =$ প্রায় 16 সেকেণ্ড।

(c) হাঁটার সময় পা মাটির উপর পিছন দিকে চাপ দেয়। এই চাপের অনুভূমিক উপাংশ মাটির সঙ্গে ঘর্ষণের বলের চেয়ে বড় হইতে পারে না। বড় করিতে গেলে পা পিছলাইয়া যায়।

খালি পায়ে এবং বরফে ঘর্ষণ গুণাংক এত কম যে বরফ সংলগ্ন পা একটু বাঁকাইলেই পা পিছলাইয়া যায়। এ জন্য বরফের উপর দিয়া হাঁটা সম্ভব হয় না।

(d) ঘর্ষণ নাই বলিয়া লোকটি হাঁটিয়া বা গড়াইয়া বা অন্য কোন ভাবে নিজের অঙ্গ সঞ্চালন করিয়া দেহকে এক দিকে গতি দিতে পারিবে না। (লোকটি নিজে এক্ষেত্রে 'বদ্ধতন্ত্র'। ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অনুসারে বদ্ধতন্ত্র অভ্যন্তরীণ বলের ক্রিয়ায় ভরবেগ বদলাইতে পারে না।

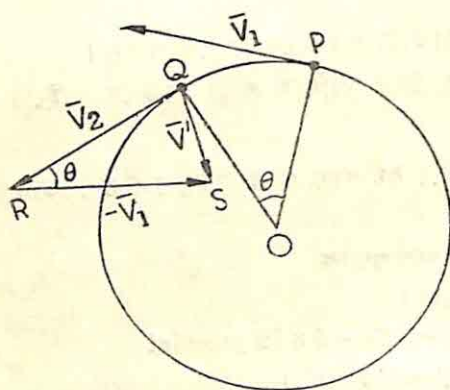
লোকটির কাছে যদি কতকগুলি ঢিল থাকে, তবে পারের বিপরীত দিকে সেগুলি একটি একটি করিয়া ছুড়িয়া ঢিলের বিপরীতে সে ভরবেগ পাইতে পারে। এভাবে পারের দিকে আগান যায়।

TGL 6. **(a)** দৈনন্দিন উদাহরণের সাহায্যে (যেমন কজার অক্ষে দরজা ঘুরান, ইত্যাদি) টর্কের ব্যাখ্যা করিতে হইবে।

(b) অভিকেন্দ্র ত্বরণের মান ভেকটর চিত্রের সাহায্যে হিসাব করিতে হইবে।

(c) পৃথিবীর আকার ও অন্যান্য উদাহরণ আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। 'বলবিজ্ঞান' অংশের 39 পৃষ্ঠার 2-2.2 বিভাগ দ্রষ্টব্য। ঘড়িতে চাবি দেওয়া, দরজার হাতল ঘুরাইয়া দরজা খোলা, স্ক্রু-ড্রাইবার ব্যবহার ইত্যাদি টর্ক প্রয়োগের উদাহরণ।

(b) পাশের ছবিতে অভিকেন্দ্র ত্বরণের মান ও দিক পাইবার ভেকটর চিত্র দেখান হইয়াছে। কণা r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v দ্রুতিতে ও ω সুষম কৌণিক বেগে চলিতেছে। বৃত্তপথে P ও Q খুব কাছাকাছি দুটি বিন্দু। ছবি পরিষ্কার রাখার জন্য উহাদের সরাইয়া আঁকা হইয়াছে। ঐ দুই বিন্দুতে কণার বেগ ভেকটর যথাক্রমে $\mathbf{V}_1$ ও $\mathbf{V}_2$। ভেকটর দুটির মান সমান, কিন্তু দিক আলাদা। P ও Q বিন্দুর মধ্যে কণার গড় ত্বরণ $\bar{a}$ = বেগ ভেকটরের পরিবর্তন ÷ অতিক্রান্ত সময়। বেগ ভেকটরের পরিবর্তন $= \mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1 = \mathbf{V}'$ (ধরা যাক)।

চিত্র I. 3

$\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1$ অর্থে $\mathbf{V}_2$-র সঙ্গে $-\mathbf{V}_1$ (অর্থাৎ $\mathbf{V}_1$-এর সমান ও বিপরীত একটি ভেকটর) যোগ করা বুঝায়। যোগের জন্য $\mathbf{V}_2$-র প্রান্ত বিন্দু R হইতে $\mathbf{V}_1$-এর সমান ও বিপরীত ভেকটর $\overline{\mathrm{RS}}\ (= -\mathbf{V}_1)$ টানা হইল। ভেকটর যোগের জ্যামিতিক নিয়ম অনুসারে $\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1 = \mathbf{V}' = \overline{\mathrm{QS}}$।

P হইতে Q-তে আসিতে t সময় লাগিয়া থাকিলে, ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে গড় ত্বরণ $\bar{a} = \mathbf{V}'/t$। ইহার অভিমুখ $\mathbf{V}''$-এর অভিমুখ। বেগ ভেকটরের মান v এবং $\mathbf{V}_1$, $\mathbf{V}_2$-র (অর্থাৎ OP, OQ-র) মধ্যে কোণ θ ধরা যাক। তাহা হইলে, সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ QRS-এ $\mathrm{QS} = 2\mathrm{QR}\sin\frac{1}{2}\theta$। θ খুব ছোট হইলে $\sin\frac{1}{2}\theta = \frac{1}{2}\theta$ লেখা যায়। অতএব P ও Q খুব কাছাকাছি থাকিলে $\mathbf{V}'$-এর মান $|\mathbf{V}'| = \mathrm{QS} = 2\mathrm{QR}\,.\,\frac{1}{2}\theta = v\,.\,\theta$। ইহাকে t দিয়া ভাগ করিলে গড় ত্বরণ পাওয়া যায়। P ও Q বৃত্তে পর পর দুইটি বিন্দু মনে করিলে এই ত্বরণই P বিন্দুতে তাৎক্ষণিক ত্বরণ ও ইহার মান $a = v\theta/t = v\omega$। জানা আছে, $\omega = v/r$। অতএব নির্ণেয় ত্বরণের মান $v^2/r\ (= \omega^2 r)$ এবং ইহার অভিমুখ PO বরাবর কেন্দ্রের দিকে।

(c) বলবিজ্ঞানের 45 পৃষ্ঠার 2-6 বিভাগে অভিকেন্দ্র বলের ক্রিয়ার সাতটি উদাহরণ দেওয়া আছে।

পৃথিবীর আকার। পৃথিবী নিজ অক্ষে ঘুরিতে থাকায় উহার আবর্তন অক্ষ হইতে দূরের অংশে অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে। ইহা অক্ষ হইতে দূরত্বের আনুপাতিক $(= m\omega^2 r)$। ইহার ফলে বিষুব অঞ্চলে বল সবচেয়ে জোরাল হয় এবং মেরু অঞ্চলে

হয় সবচেয়ে কম। এইরূপ অসমান বলের ক্রিয়ায় পৃথিবী আকারে ঠিক গোল না থাকিয়া মেরু অঞ্চলে কিছু চাপা ও বিষুব অঞ্চলে কিছু স্ফীত হয়।

g-বল (g-force)। মানুষের দেহ হঠাৎ ত্বরণ পাইলে কতকগুলি বিপত্তিকর ঘটনা ঘটিতে পারে। বর্তমানে বোমারু বিমান, যুদ্ধবিমান প্রভৃতি খুব বেগে চলিতে পারে। বেশী বেগের উপর হঠাৎ হ্রস্ব ব্যাসের বৃত্তপথে বাঁক নিলে চালকের উপর mv^2/r বল ক্রিয়া করে। এই বল $W' = nW$ রূপে লেখা যায় (W = চালকের ওজন)। বল চালকের ওজনের কয়েকগুণ হইতে পারে। যতগুণ তাহাকে অর্থাৎ n-কে g-সংখ্যা বলে। বলজনিত ত্বরণ অভিকর্ষীয় ত্বরণ g-র তুলনায় কতগুণ তাহা দিয়া ত্বরণ বুঝান হয়। 2g, 3g ত্বরণ বলিতে বুঝায় ত্বরণ অভিকর্ষীয় ত্বরণের 2, 3 গুণ, এবং বল $W' = 2W, 3W$ ইত্যাদি। হঠাৎ ত্বরণে জনিত বলকে g-বল বলে। ইহার g-সংখ্যা যত বেশী হয় সাময়িক 'ওজন' তত বাড়ে। 3g হইতে 4g-তে পেশী চালনা কঠিন হয়। 5g-তে শ্বাস নেওয়া যায় না। 5g হইতে 9g-তে দৃষ্টিশক্তি ও জ্ঞান দুই-ই নষ্ট হয় (সাময়িক)। এই ত্বরণে রক্ত এত 'ভারী' হয় যে হৃৎপিণ্ড উহাকে মাথা পর্যন্ত তুলিয়া দিতে পারে না।

Q(S) 15. **(a)** অভিকেন্দ্র বল কাহাকে বলে? অভিকেন্দ্র ত্বরণ = বেগের বর্গ/ব্যাসার্ধ এই সম্পর্কটি স্থাপন কর।

(b) মোটর সাইকেল চালক 50mi/hr বেগে চলিয়া 44ft ব্যাসের বাঁক নিতে চান। উল্লম্বের সঙ্গে তাহাকে কত কোণে বাঁকিতে হইবে?

উঃ। **(a)** সংজ্ঞার জন্য (বলবিজ্ঞান, 42 পৃষ্ঠা ও সম্পর্কের জন্য 43 পৃষ্ঠার 2-4.3 সমীকরণ দ্রষ্টব্য। TGL 6 (b) অংশে ভেকটর চিত্রের সাহায্যে সমীকরণ স্থাপন করা হইয়াছে।)

(b) (বলবিজ্ঞান, 46 পৃষ্ঠার (4) উদাহরণ (2-6.1 সমীকরণ) দ্রষ্টব্য। 1978 পরীক্ষার 3 (c) প্রশ্নও দ্রষ্টব্য।)

Q (S) 16. **(a)** কোণের রেডিয়ান মান এককের সকল পদ্ধতিতেই ব্যবহার করা যায় কেন?

(b) ঘড়ির সেকেণ্ড কাঁটা ও মিনিট কাঁটার কৌণিক বেগ কত কত? (অনুরূপ প্রশ্ন—পৃথিবীর কৌণিক বেগ কত?

উঃ। **(a)** রেডিয়ানের সংজ্ঞা অনুসারে কোণের রেডিয়ান মান দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত। দুইটি একরকম রাশির অনুপাত সংখ্যামাত্র। সংখ্যার মান এককের পদ্ধতির উপর নির্ভর করে না বলিয়া রেডিয়ান সকল পদ্ধতিতেই ব্যবহার করা যায়।

(b) ঘড়ির সেকেণ্ড কাঁটার কৌণিক বেগ $= 2\pi$ rad/60 s $= 0{\cdot}10472$ rad/s। মিনিট কাঁটার কৌণিক বেগ $= 2\pi$ rad/(60×60)s $= 0{\cdot}001745$ rad/s। পৃথিবীর কৌণিক বেগ $= 2\pi$ rad/$(24 \times 60 \times 60)$s $= 7{\cdot}27 \times 10^{-5}$ rad/s।

TGL 7. (a) **ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র**। উদাহরণের সাহায্যে উহাদের প্রভেদ বুঝাইতে হইবে।

(b) বলের ভ্রামক আলোচনার পর কণাগোষ্ঠীর সাম্য আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। (a) সুষম অভিকর্ষীয় বলক্ষেত্রে উভয় বিন্দুর অবস্থান একই। কিন্তু মহাশূন্যে যেখানে অভিকর্ষ নাই, সেখানে ভারকেন্দ্র কথাটিরও কোন অর্থ নাই। অথচ সকল ক্ষেত্রেই ভরকেন্দ্র কথাটি অর্থবহ। সূর্য, চাঁদ, তারা, নীহারিকা প্রভৃতির ক্ষেত্রে ভারকেন্দ্র কথাটি প্রয়োগ করা যায় না। কিন্তু সকলেরই ভরকেন্দ্র আছে। কোন বিস্তৃত বস্তু (extended body)-তে বল প্রয়োগ করিলে বস্তুর সমান ভরের একটি কণা বস্তুটির ভরকেন্দ্রে থাকিলে কণার যে প্রকার গতি হইত, বস্তুটিরও তাহাই হইবে। নিউটনের গতীয় সমীকরণ $F=ma$-তে a বস্তুর ভরকেন্দ্রের ত্বরণ।

(b) বইতে ইহাই করা হইয়াছে।

TGL 8. (a) 'কার্য স্কেলার রাশি'—এই কথাটির উপর জোর দিতে হইবে।

(b) The fact that *potential energy is undefined to the extent of an arbitrary additive constant* should be stressed.

[ভাবার্থ—'স্থিতিশক্তির ব্যক্ত মান উহার পূর্ণ মান নয় ; উহার সঙ্গে অব্যক্ত একটি স্বৈচ্ছিক মান আছে'—এই তথ্যটির উপর জোর দিতে হইবে।]

আলোচনা। (a) কার্য = বল × সরণ। বল ও সরণ উভয়েই ভেকটর রাশি। ইহাতে মনে হইতে পারে কার্যও ভেকটর রাশি। কিন্তু তাহা নয় ; কার্য স্কেলার রাশি। কার্যের কেবল মান আছে, কোন দিক নাই। বল বা সরণ যে দিকেই হোক না কেন, উহাদের গুণফল সমান থাকিলে সকল ক্ষেত্রে কার্য একই হইবে।

(দুই ভেকটরের গুণফল স্কেলার রাশি হইলে সেরূপ গুণনকে দুই ভেকটরের 'স্কেলার গুণন' বলে। দুই ভেকটরের গুণফল ভেকটর রাশিও হইতে পারে। বলের ভ্রামক ইহার উদাহরণ। এরূপ গুণনকে 'ভেকটর গুণন' বলে।)

(b) স্থিতিশক্তির মান প্রকাশ করার সময় আমরা একটা নির্দিষ্ট অবস্থা বা অবস্থান সাপেক্ষে উহার মান প্রকাশ করি। ভূমি হইতে h উচ্চতায় m ভরের স্থিতিশক্তি mgh বলা হয়। ইহাতে ভূমিতে থাকা কালে বস্তুটির স্থিতিশক্তির মান শূন্য বলিয়া **স্বৈচ্ছিকভাবে** ধরা হইয়াছে। এই অবস্থানেও বস্তুটির স্থিতিশক্তি আছে বলিয়া ধরিতে হইবে। কিন্তু ইহার মান জানা নাই। অতএব ব্যক্ত মান mgh উহার যথার্থ মান, একথা বলা চলে না। উহার সঙ্গে অব্যক্ত এবং অজানা একটি মানও আছে। কার্যত ইহাতে কিছু আসে যায় না, কারণ আমরা সব সময়ই দুই অবস্থার স্থিতিশক্তির প্রভেদের কথা বলি। ইহাতে অব্যক্ত মানটি গণনায় আসে না।

Q(S) 17. (a) কার্য ও ক্ষমতায় প্রভেদ বল। কার্যের CGS ও FPS এককের সংজ্ঞা দাও ও উহাদের সম্পর্ক বাহির কর।

(b) মেঘ ভূপৃষ্ঠের $\frac{3}{4}$ মাইল উপরে আছে। উহা হইতে পড়া বৃষ্টির জলে $\frac{1}{2}$ বর্গ

মাইল বিস্তৃত জায়গা $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি গভীর জলে ভরিয়া গেল। জল মেঘে তুলিতে কত কার্য হইয়াছিল ?

(c) একজন লোক নদীর স্রোতের বিপরীতে নৌকা বাহিতেছে, কিন্তু তীর সাপেক্ষে আগাইতে পারিতেছে না। সে কার্য করিতেছে কিনা বুঝাইয়া বল।

উঃ। (a) ('বলবিজ্ঞান' অংশের 56 পৃষ্ঠার 4-2 বিভাগ দেখ। পৃষ্ঠার একেবারে নীচের লাইনে নির্ণেয় সম্পর্ক আছে।)

(b) নির্ণেয় কার্য = জলের ভর × g × মেঘের উচ্চতা

$= \frac{1}{2}$ inch × $\frac{1}{2}$ sq. mi × জলের ঘনত্ব $\rho \times 32\text{ft/s}^2 \times \frac{3}{4}$ mi

[FPS এককে ফল বাহির করিতে হইলে সব রাশিগুলি FPS এককে নিতে হইবে। জলের ঘনত্ব প্রশ্নে FPS এককে দেওয়া নাই। ইহা 62·4 lb/ft^3 ধরা যায়। যে পদ্ধতির প্রচলন উঠিয়া গিয়াছে তাহাতে অঙ্ক না দিয়া CGS বা MKS পদ্ধতির এককে অঙ্কটি করিতে দেওয়াই ভাল ছিল।]

(c) কোন বল নিজের ক্রিয়াবিন্দু নিজের ক্রিয়ামুখে সরাইলে উহা কার্য করিয়াছে বলা হয়। এক্ষেত্রে দাঁড় একটি লিভার। জলে ডুবান মাথা উহার আলম্ব। দাঁড় নৌকায় যেখানে বাঁধা Load সেখানে ক্রিয়া করে। Effort ক্রিয়া করে দাঁড়ের অন্য (মুক্ত) প্রান্তে। লোকটি এই প্রান্তে বল প্রয়োগ করিয়া প্রান্তকে বলের অভিমুখে সরাইতেছে। অতএব সে কার্য করিতেছে।

তীর সাপেক্ষে আগাইতে পারা বা না পারা অপ্রাসঙ্গিক। তীর সাপেক্ষে সরণ দিয়া কার্য মাপা হয় না।

পদার্থের ধর্ম

TGL 9. মহাকর্ষ। (a) ভূপৃষ্ঠে g-র পরিবর্তনে (i) অক্ষাংশের ক্রিয়া ও (ii) পৃথিবীর অক্ষীয় আবর্তন বিবেচনা করিতে হইবে। (গণিতের বিশদ প্রয়োগ দরকার নাই)

(b) ভূনিম্নে g কমিবার ভৌত কারণ বলিলেই হইবে।

(c) পৃথিবীর ভর ও গড় ঘনত্ব হিসাব করিতে হইবে।

আলোচনা। (a) (পদার্থের ধর্ম, 8 পৃষ্ঠা, (ক) অংশ।)

(b) পদার্থের ধর্ম, 8 পৃষ্ঠা, (গ) অংশ। $R-d$ ব্যাসার্ধের গোলকের বাহিরে পৃথিবীর যে খোলকীয় (Shell) অংশ, তাহার জন্য আলোচ্য বিন্দুতে আকর্ষণ বা বিকর্ষণের মোট কোন বল ক্রিয়া করে না। খোলকের ভিতরের অংশে কোন ভর থাকিলে উহার উপর খোলকের এক অংশের আকর্ষণ অন্য অংশের আকর্ষণের সমান ও বিপরীত হয়। এই জন্য খোলকের ভিতরে খোলকের কোন ক্রিয়া থাকে না।

(c) (পদার্থের ধর্ম, 8 পৃষ্ঠা, 1-9.1।)

TGL 10. সরল দোলক। **(a)** সরল দোলকের সূত্রগুলি বলিতে ও ব্যাখ্যা করিতে হইবে।

(b) সরল দোলকের সাহায্যে g নির্ণয়ের তত্ত্ব এবং নির্ণয়ে যে ত্রুটি ঘটিতে পারে তাহা ক্লাশে আলোচনা করিতে হইবে।

(c) মহাকর্ষীয় বিভব (Gravitational Potential) আলোচনার কোন দরকার নাই।

আলোচনা। **(a)** ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 8 পৃষ্ঠার 1-6 বিভাগ দ্রষ্টব্য।) $T=2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণ মনে রাখিলে সূত্রগুলি সবই লেখা যায়। বিস্তার (amplitude) খুব কম ধরিয়া এই সমীকরণ স্থাপিত হইয়াছে একথা অবশ্যই মনে রাখিতে হইবে। (i) g স্থির থাকিলে $T\propto\sqrt{l}$, (ii) l স্থির থাকিলে $T\propto\sqrt{1/g}$ এবং (iii) l, g স্থির থাকিলে T দোলকপিণ্ডের ভরের উপর নির্ভর করে না—এই তিনটিই ভাল করিয়া মনে রাখার বিষয়।

সংজ্ঞায় বর্ণিত সরল দোলক কার্যক্ষেত্রে পাওয়া যায় না। সুতার লম্বন বিন্দু হইতে দোলকপিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্বই l, ইহা বিশেষ করিয়া মনে রাখা দরকার। নির্দিষ্ট দোলকে দোলকপিণ্ডের ভারকেন্দ্র বদলাইলে উহার দোলনকালও বদলাইবে।

(1978 সালের পরীক্ষার প্রথম পত্রের 4 নং প্রশ্নের (a), (b) অংশ ও তাহার উত্তর দ্রষ্টব্য।) পৃথিবীর বিভিন্নস্থানে g-র মানে একটু প্রভেদ হয়। এ জন্য একই দোলকের দোলনকাল পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে একটু আলাদা হইবে। (পরবর্তী প্রশ্ন দেখ।)

(b) $T=2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণের সাহায্যে g বাহির করা হয়। $g=4\pi^2 l/T^2$। এই সমীকরণ প্রতিষ্ঠায় যে সকল শর্ত মানিয়া নেওয়া হইয়াছে সেগুলি পূর্ণ না হইলে সমীকরণ পুরাপুরি ঠিক হইবে না এবং সে জন্য লব্ধ ফলে অজ্ঞাতমান কিছু ত্রুটি থাকিবে।

[এক নম্বর শর্ত হইল ইহা সরল দোলক। সরল দোলকের সংজ্ঞা অনুযায়ী কোন দোলক গঠন করা যায় না। ভারহীন সুতা নাই ; টানিলে বাড়ে না বা বাঁকাইতে জোর লাগে না এমন সুতাও নাই। ভারী কণাও কার্যত পাওয়া যায় না ; উহা কল্পনা। কার্যক্ষেত্রে আমরা নরম একগাছা সুতায় একটি গোল দোলকপিণ্ড বাঁধিয়া তাহাতেই সরল দোলকের ধর্ম আরোপ করি। ইহাতে যে ত্রুটি হয় তাহার মান বাহির করার কোন উপায় জানা নাই।

দ্বিতীয় শর্ত হইল দোলনের বিস্তার অতি সামান্য হইবে। দোলকের বিস্তার দৈর্ঘ্যের প্রায় $\frac{1}{12}$ হইলে এ জন্য ত্রুটি মানিয়া নেওয়া যায়। অতএব বিস্তার ঐ সীমার মধ্যে রাখিলেই চলিবে।

দোলকের দৈর্ঘ্য মাপনে কিছু ত্রুটি সর্বদাই থাকে। দৈর্ঘ্য যত বেশী নেওয়া যায় ততই ভাল, কারণ তাহাতে আপেক্ষিক ত্রুটি কম হয়। এক মিটারের কাছাকাছি দৈর্ঘ্য

নেওয়া উচিত। ইহাতে দৈর্ঘ্য মাপনে হাজারে ২।৩ অংশের বেশী ত্রুটি নাও হইতে পারে।

সময় মাপনেও ত্রুটি হয়। সময় মাপনের আরম্ভে ও শেষে ঠিক ঠিক সময় ঘড়ি চালান ও বন্ধ করা যায় না। কিছু ত্রুটি থাকে। বারবার একই সংখ্যক দোলনের দোলনকাল মাপিলে বিভিন্ন মাপনে এ কারণে কিছু প্রভেদ দেখা যায়। T মাপনে 1% ত্রুটি থাকিলে g-তে সে জন্য 2% ত্রুটি হইবে।

ত্রুটির এই সব কারণগুলি বিচার করিলে দেখা যায় এভাবে g-র সঠিক মান (পশ্চিম বঙ্গের সমতলে 978 – 979 cm/s^2) পাওয়া অসম্ভব। লব্ধ ফল আদর্শ ফলের 1%-এর মধ্যে থাকিলেই মনে করিতে হইবে পরীক্ষণ ভাল হইয়াছে। ইহার অর্থ 970 হইতে 990 পাল্লার মধ্যে যে কোন ফল গ্রহণযোগ্য। 980-র কাছাকাছি ফল পাওয়ার উপরে জোর দেওয়া একেবারেই অনুচিত। পাইলে বুঝিতে হইবে এক ত্রুটি অন্য ত্রুটির বিপরীতে ক্রিয়া করিয়াছে। যাহারা 980-র কাছাকাছি ফল পাইবার জন্য ছাত্রদের উপর চাপ দেন তাহারা প্রকারান্তরে ছাত্রকে অসদুপায় গ্রহণ করিতে বাধ্য করেন।

পরীক্ষণ কয়েকবার করিলে বিভিন্ন ফলগুলি যদি কাছাকাছি হয় এবং গড় মান সঠিক মানের 1%-এর মধ্যে থাকে তাহা হইলে প্রশংসনীয় কাজ হইয়াছে মনে করিতে হইবে।

সরল দোলক সংক্রান্ত কয়েকটি প্রশ্ন।

(১) সেকেণ্ড দোলক কাহাকে বলে ? $g = 980$ cm/s^2 হইলে সেখানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত হইবে ?

উঃ। (1978 পরীক্ষার প্রথম পত্রের 4 (a) প্রশ্ন ও উহার উত্তর দেখ।)

(২) বিষুব অঞ্চলে ঠিক, এমন একটি সেকেণ্ড দোলক (ক) মেরুর দিকে, (খ) পাহাড়ের উপরে, (গ) খনির ভিতরে নেওয়া হইল। উহা কোথায় ধীরে (slow), কোথায় দ্রুত (fast) চলিবে, কারণ দেখাইয়া বল।

উঃ। T বাড়িলে দোলক ধীরে (slow) যাইতেছে এবং T কমিলে উহা দ্রুত যাইতেছে বলা হয়।

এ ক্ষেত্রে দোলক নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের। অতএব T-র পরিবর্তন হইবে g-র পরিবর্তনের জন্য।

(ক) উচ্চতর অক্ষাংশে (মেরুর দিকে) g-র মান ক্রমশ বাড়ে। অতএব T কমিবে অর্থাৎ দোলক দ্রুত চলিবে।

(খ) পাহাড়ের উপরে g-র মান কম। অতএব T বাড়িবে এবং দোলক ধীরে চলিবে।

(গ) খনির ভিতরে g-র মান ভূপৃষ্ঠের চেয়ে কম। অতএব T বাড়িবে এবং দোলক ধীরে চলিবে।

Q(S) 18. **(a)** সরল দোলকের সাহায্যে পাহাড়ের উচ্চতা কি ভাবে বাহির করিতে পার ?

(b) $g = 981 \text{ cm/s}^2$ হইলে সেখানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত ?

(c) সরল দোলক বানাইতে পারিবে কিনা, কারণ দেখাইয়া বল।

(d) জলে ভরা একটি ফাঁপা গোলকের নিচের দিকে একটি ছেঁদা আছে। লম্বা সূতায় ঝুলাইয়া উহার দোলনকাল মাপা হইতে থাকিলে দেখা যাইবে জল ক্রমশ বাহির হইয়া যাইবার জন্য দোলনকাল প্রথমে বাড়িয়া পরে কমে। কারণ বল।

(e) ভূপৃষ্ঠে বিষুবরেখায় অবস্থিত কোন বস্তুর আপাত ভারের উপর পৃথিবীর অক্ষীয় আবর্তনের কি ক্রিয়া হয় ?

উঃ। (a) ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g_o = GM/R^2$। G = মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা ; M = পৃথিবীর ভর ; R = পৃথিবীর ব্যাস (পদার্থের ধর্ম, 3 পৃষ্ঠা, 1-5.2 সমীকরণ)। ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় $g_h = GM/(R+h)^2 = (GM/R^2)(1-2h/R) = g_o(1-2h/R)$ (বাইনোমিয়াল থিওরেম প্রয়োগে ; 'পদার্থের ধর্ম', 8 পৃষ্ঠা, 'খ' অংশ)। অতএব $g_h/g_o = 1-2h/R$।

l দৈর্ঘ্যের দোলক নিয়া ভূপৃষ্ঠে উহার দোলনকাল পাইব $T_o = 2\pi\sqrt{l/g_o}$। পাহাড়ের উপর একই দোলকের দোলনকাল হইবে $T_h = 2\pi\sqrt{l/g_h}$। ভাগ করিয়া এই দুই সমীকরণ হইতে পাই $g_h/g_o = T_o^2/T_h^2$। অতএব $T_o^2/T_h^2 = 1-2h/R$।

দেখা গেল ভূপৃষ্ঠে ও পাহাড়ের উপরে একই দোলকের দোলনকাল মাপিলে উপরের সমীকরণের সাহায্যে পাহাড়ের উচ্চতা h জানা যায়। পৃথিবীর ব্যাস R জানা থাকিতে হইবে।

(b) সেকেণ্ড দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড। অতএব $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণ অনুসারে $2 = 2\pi\sqrt{l/g}$ বা $l = g/\pi^2 = 981/\pi^2$ cm। (π^2-এর মান কত ধরা হইল তাহার উপর উত্তর নির্ভর করিবে। $\pi^2 = 9.87$ ধরিলে $l = 99{\cdot}4$ cm।)

(c) (TGL 10-এর (b) অংশের আলোচনা দেখ।)

(d) জলভরা অবস্থায় দোলকপিণ্ডের ভারকেন্দ্র গোলকের কেন্দ্রে। জল কমিতে থাকিলে ভারকেন্দ্র নিচে নামে। ফলে দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বাড়ে এবং দোলনকালও বাড়ে। গোলকের উপরের অর্ধেক খালি হওয়া পর্যন্ত ইহা চলে। জল যখন কেন্দ্র ছাড়াইয়া আরও নিচে নামে, তখন দোলক পিণ্ডের ভারকেন্দ্র আবার উপরে উঠিতে থাকে, এবং সব জল পড়িয়া গেলে ভারকেন্দ্র গোলকের কেন্দ্রে আসে। অতএব অর্ধেক জল পড়িয়া যাওয়ার পর হইতে কার্যকর দৈর্ঘ্য কমিতে থাকে। ফলে দোলনকালও কমে।

(e) 'পদার্থের ধর্ম', 8 পৃষ্ঠা, (ক) অংশের শেষ অর্ধ দেখ। বিষুব রেখায় অবস্থিত বস্তুর উপর অভিকর্ষীয় টান mg_o হইলে ইহার $m\omega^2 R$ অংশ প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র

বল যোগাইতে যাইবে। (ω = পৃথিবীর কৌণিক বেগ ; R = বিষুব রেখায় পৃথিবীর ব্যাস।) ইহাতে আপাত ভার যথার্থ ভারের চেয়ে কম হইবে।

TGL 11. (a) গ্রহের কক্ষের প্রকৃতি ও কেপলারের সূত্রের উল্লেখ করিতে হইবে।

(b) বৃত্তাকার কক্ষে চলন্ত নকল উপগ্রহের বেগ হিসাব করিতে হইবে।

আলোচনা। (a) 'পদার্থের ধর্ম', ৪ পৃষ্ঠা, 1-10 বিভাগ)

টাইকো ব্রাহি (Tycho Brahe) ডেনমার্ক দেশীয় জ্যোতির্বিদ ছিলেন। বহু বৎসর ধরিয়া তিনি আকাশে গ্রহের অবস্থান ও গতি মাপেন। তাঁহার সংগৃহীত তথ্য হইতে তাঁহার সহকর্মী কেপলার (Kepler) গ্রহের গতিসংক্রান্ত তিনটি সূত্র বাহির করেন। সূত্রগুলিকে কেপলারের সূত্র বলে।

প্রথম সূত্র—গ্রহগুলি সূর্যকে এক ফোকাসে রাখিয়া উহার চারদিকে উপবৃত্ত আকারের কক্ষে ঘোরে।

দ্বিতীয় সূত্র—সূর্য ও গ্রহকে যোগ করিয়া যে কল্পিত রেখা তাহা সমান সময়ে সমান ক্ষেত্রফলের ক্ষেত্র বর্ণনা করে।

তৃতীয় সূত্র—যে কোন গ্রহের আবর্তনকালের বর্গ সূর্য হইতে উহার গড় দূরত্বের ঘনফলের সমানুপাতিক।

অধিকাংশ গ্রহের ক্ষেত্রে উপবৃত্তের দুই ফোকাস এত কাছাকাছি যে গ্রহের কক্ষকে কার্যত বৃত্তাকার ধরা চলে।

কেপলারের সূত্রগুলি বহুমূল্য। উহা হইতে নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্রে আসা যায়। কেবল গ্রহের গতি নয়, উহারা আসল এবং নকল উপগ্রহের গতিও বর্ণনা করে। সূর্যের চারদিকে গ্রহের গতি যেমন, গ্রহের চারদিকে আসল বা নকল উপগ্রহের গতিও তেমনই। উভয়ের গতির সূত্র একই।

আমাদের আলোচনায় আমরা কক্ষকে বৃত্তাকার ধরিব।

(b) উপগ্রহের গতিতে উহার উপরে গ্রহের মহাকর্ষীয় টান GMm/r^2 প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল mv^2/r জোগায়। অতএব

$$mv^2/r = GMm/r^2 \text{ বা } v^2 = GM/r \text{ অর্থাৎ } v = \sqrt{GM/r}\text{।}$$

পৃথিবীর ব্যাস R ও ভূ-পৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ g_0 হইলে, জানা আছে $g_0 = GM/R^2$। অতএব $GM = g_0R^2$। v-র সমীকরণে এই মান বসাইলে পাই

$$v = \sqrt{g_0R^2/r} = R\sqrt{g_0/r}\text{।}$$

r = ভূকেন্দ্র হইতে উপগ্রহের দূরত্ব। নকল উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় থাকিলে $r = R + h$। উপগ্রহ যে দূরত্বে আছে সেখানে অভিকর্ষীয় ত্বরণ g হইলে $g = GM/r^2$ বা $GM = gr^2$। অতএব লেখা যায়

$$v = \sqrt{GM/r} = \sqrt{GM/(R+h)} = R\sqrt{g_0/(R+h)} = \sqrt{gr}$$

$v=\sqrt{gr}$ সমীকরণে মনে রাখিতে হইবে $g=$ভূকেন্দ্র হইতে r দূরত্বে (অর্থাৎ নকল উপগ্রহ যেখানে) অভিকর্ষীয় ত্বরণের মান।

Q(S) 19. (a) বৃত্তপথে চলন্ত নকল উপগ্রহ উহার উপর অভিকর্ষীয় টানে বিনা বাধায় ভূকেন্দ্রের দিকে পড়িতেছে—এই কথাটি ব্যাখ্যা কর।

(b) উপরের উক্তির ভিত্তিতে ভারহীনতা ব্যাখ্যা কর।

(c) ভূপৃষ্ঠের 300 km উপরে একটি নকল উপগ্রহ ঘুরিতেছে। পৃথিবীর ব্যাস 6400 km এবং ভূপৃষ্ঠে $g_o=9{\cdot}80\text{m/s}^2$ হইলে উপগ্রহের বেগ কত ?

(d) পলায়নের বেগ (Escape velocity বা মুক্তির বেগ) কাহাকে বলে ?

উঃ। (a) নকল উপগ্রহ গ্রহের মহাকর্ষীয় টানে গ্রহের চারদিকে ঘোরে। অতএব প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল $mv^2/r=$মহাকর্ষীয় টান GMm/r^2।

ভূকেন্দ্র হইতে r দূরত্বে অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g_r=GM/r^2$ এবং অভিকর্ষীয় টান $mg_r=GMm/r^2$। অতএব

অভিকেন্দ্র বল $=$ অভিকর্ষীয় টান mg_r।

দেখা যায়, **উপগ্রহের উপর একমাত্র বল পৃথিবীর অভিকর্ষীয় টান।** ইহার বিরোধী কোন বল নাই বলিয়া উপগ্রহের ত্বরণ ভূকেন্দ্রের দিকে, এবং সেদিকে তাহার গতি বাধাহীন। বেগ থাকায় উপগ্রহ সোজা আসিয়া পৃথিবীর উপর পড়িতে পারিতেছে না। আলোচ্য উক্তিটির ইহাই ব্যাখ্যা। মনে রাখা ভাল যে, "যে বস্তুর উপর অভিকর্ষই একমাত্র ক্রিয়াশীল বল, তাহার গতিকেই বিনা বাধায় পতন বলে"।

(b) উপরের ব্যাখ্যা হইতে বোঝা যায় নকল উপগ্রহের ভিতরের যে কোন বস্তুর উপর অভিকর্ষীয় টান বস্তুটিকে বৃত্তপথে রাখিবার অভিকেন্দ্র বল জোগাইতে সম্পূর্ণ খরচ হয়। অতএব এরূপ বস্তু তাহার সংস্পর্শে অবস্থিত অন্য কোন বস্তুর উপর কোন প্রকার অভিকর্ষমূলক বল প্রয়োগ করিতে পারে না।

মাটিতে যে মেঝের উপর আমরা দাঁড়াইয়া আছি তাহার উপর আমরা ভারজনিত চাপ দেই। পায়ের উপর মাটির প্রতিক্রিয়া আমাদের ভারের বোধ আনিয়া দেয়। কিন্তু চাপ যদি নাই দিতে পারিলাম তাহা হইলে প্রতিক্রিয়া এবং ভারবোধ আর আসিবে কিরূপে! নকল উপগ্রহে থাকিলে এরূপ চাপ আমরা দিতে পারি না, কারণ অভিকর্ষীয় বল অন্য কাজে সম্পূর্ণ ব্যয় হইয়া গিয়াছে। এরূপ অবস্থাকেই ভারহীনতা বলে। ('পদার্থের ধর্ম', 10 পৃষ্ঠা, 1-12 বিভাগ দেখ।)

(c) TGL 11-র $v=R\sqrt{g_o/(R+h)}$ সমীকরণ প্রয়োগ কর। সব রাশি এমকেএস এককে নাও। $R=6400\text{ km}=6{\cdot}4\times10^6\text{ m}$; $g_o=9{\cdot}80\text{ m/s}^2$,
$h=300\text{km}=3\times10^5\text{m}$। উত্তর—প্রায় 7·74 km/s।

(d) ('পদার্থের ধর্ম', 9 পৃষ্ঠা, 1-11 বিভাগ দেখ।)

TGL 12. পদার্থের স্থিতিস্থাপক ধর্ম। (a) সংজ্ঞা ও ভৌত ব্যাখ্যা দিতে হইবে।

(b) বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাংকের পারস্পরিক সম্পর্ক স্থাপন করিতে হইবে না।

(c) দৈনন্দিন জীবনে বিভিন্ন গুণাংকের ক্রিয়ার উদাহরণ দিতে হইবে।

আলোচনা। (*a*) ও (*c*) ('পদার্থের ধর্ম', 14-20 পৃষ্ঠা, 2-1 হইতে 2-3 বিভাগে সকল রাশির সংজ্ঞা পাওয়া যাইবে। 21 পৃষ্ঠায় 2-5 বিভাগ, ও 22 পৃষ্ঠায় 2-5.1 বিভাগও দ্রষ্টব্য।)

Q(S) 20. **(a)** ইয়ং গুণাংক, আয়তনবিকার গুণাংক ও পোয়াসঁর অনুপাতের সংজ্ঞা দাও। স্থিতিস্থাপক সীমা কাহাকে বলে ?

(b) $1\ cm^2$ প্রস্থচ্ছেদের স্টীলের তারে কত বল প্রয়োগ করিলে উহার দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হইবে ? স্টীলের ইয়ং গুণাংক $= 2 \times 10^{12}$ সিজিএস একক।

(c) রবার ও ইস্পাতের কোনটি বেশী স্থিতিস্থাপক ?

উঃ। **(a)** ('পদার্থের ধর্ম', 15 ও 19-20 পৃষ্ঠায় সংজ্ঞাগুলি দেখ।)

(b) ইয়ংগুণাংকের $E = \dfrac{F/S}{l/L}$ সমীকরণে ('পদার্থের ধর্ম', 19 পৃষ্ঠার 2-3.1 সমীকরণে) $l = L$ হইতে হইবে। $S = 1\ cm^2$ হইলে $F = E$ হইবে।

উত্তর—2×10^{12} dynes।

(কার্যক্ষেত্রে এরূপ হইতে পারে না ; অত বল প্রয়োগের আগেই তার ছিঁড়িয়া যায়। অঙ্কে ধরিয়া নেওয়া হইয়াছে তার ছিঁড়িবে না, এবং লম্বা হইলেও উহার প্রস্থচ্ছেদ বদলাইবে না। মূল প্রশ্নে 1 sq-km cross section ছাপার ভুল বলিয়া মনে হয়।)

(c) যে পদার্থে বিকার আনিতে বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয়, বিজ্ঞানসম্মত অর্থে তাহাই বেশী স্থিতিস্থাপক। অতএব এ অর্থে রবারের চেয়ে ইস্পাত স্থিতিস্থাপক বেশী।

ইস্পাতের চেয়ে রবারের স্থিতিস্থাপক সীমা বেশী ; অনেকখানি টানিলেও রবার আগের অবস্থায় ফিরিয়া যায়। প্রত্যক্ষ এই অভিজ্ঞতার জন্য সাধারণ ভাষায় রবারকে বেশী স্থিতিস্থাপক বলা হয়।

TGL 13. আপেক্ষিক গুরুত্ব। মাপনের বিভিন্ন উপায়ের তত্ত্ব সংক্ষেপে আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। প্রাকটিকাল ক্লাশে যে সকল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপিতে হইবে সেগুলির তত্ত্ব আলোচনা ডি. পি. রায়চৌধুরী লিখিত ও অ্যালায়েড বুক এজেন্সী (18A শ্যামাচরণ দে স্ট্রিট, কলিকাতা-73) প্রকাশিত 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান'-এ 11 হইতে 24 পৃষ্ঠায় প্রত্যেকটি পরীক্ষণের সঙ্গে বলা আছে।

TGL 14. আর্কিমিডিসের তত্ত্ব। তত্ত্বের প্রয়োগ আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। নির্দেশের সঠিক উদ্দেশ্য স্পষ্ট নয়। কঠিন বস্তুর আয়তন ও আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা, জলে (বা অন্য তরলে) ভাসা, বেলুনের উপরে ওঠা প্রভৃতি সবই এই তত্ত্বের প্রয়োগ। বইতে এগুলি সবই করা আছে।

Q(S) 21. **(a)** আর্কিমিডিসের তত্ত্বটি কি? উহার সত্যতা কি ভাবে যাচাই করা যায়?

(b) দুইটি বিশুদ্ধ ধাতুতে তৈয়ারী সংকর ধাতুতে দুই ধাতুর অনুপাত আর্কিমিডিস তত্ত্বের সাহায্যে কি ভাবে বাহির করা যায়?

(c) বাধাহীন পতনে আর্কিমিডিস তত্ত্ব প্রয়োগ করা যায় কি?

(d) নকল উপগ্রহে আর্কিমিডিস তত্ত্ব প্রযোজ্য কিনা বুঝাইয়া বল।

উঃ। **(a)** ('পদার্থের ধর্ম', 26 পৃষ্ঠার 3-3 বিভাগ ও 27 পৃষ্ঠার 3-3.1 বিভাগ দেখ।)

(b) ধরা যাক m_1 ভরের ρ_1 ঘনাংকের ধাতুর সঙ্গে m_2 ভরের ρ_2 ঘনাংকের ধাতু মিশাইয়া সংকর ধাতু তৈয়ারী হইল। প্রথমটির আয়তন $V_1 = m_1/\rho_1$ ও দ্বিতীয়টির আয়তন $V_2 = m_2/\rho_2$। দুইএর ভর $m_1 + m_2$ এবং আয়তন $V_1 + V_2$। সংকর ধাতুর ঘনাংক $\rho = (m_1 + m_2)/(V_1 + V_2) = (m_1 + m_2)/(m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2)$। অতএব উপর-নিচ m_2 দিয়া ভাগ করিলে পাই $\rho = (m_1/m_2 + 1)/\left\{\dfrac{m_1/m_2}{\rho_1} + \dfrac{1}{\rho_2}\right\}$
ρ_1, ρ_2 জানা থাকিলে ρ মাপিয়া m_1/m_2 অনুপাত বাহির করা যায়।

[এই সমীকরণ প্রয়োগ করিয়া 'পদার্থের ধর্মের' 29 পৃষ্ঠার 10 নম্বর অঙ্কটি কর।]

(c). (d)। কোন ক্ষেত্রেই আর্কিমিডিসের তত্ত্ব প্রযোজ্য নয়। নকল উপগ্রহের গতি ও বাধাহীন পতন উভয় ক্ষেত্রেই অভিকর্ষীয় টান বস্তুকে স্থানীয় g ত্বরণে ভূকেন্দ্রের দিকে গতি দিতেছে। এই টানের কোন অংশ অন্যভাবে ব্যয়িত হইতেছে না।

[Q (S) 19. (*a*) উত্তর দ্রষ্টব্য]

বাধাহীন পতনের সময় একখণ্ড লোহা আংশিক ডুবান থাকিলে, ঐভাবে থাকিয়াই উভয়ে চলিবে। লোহা ডুবিবে না বা জলও উহাতে উর্ধ্বচাপ দিবে না।

Q(S) 22. **(a)** ভাসন্ত বস্তুর সাম্যের শর্ত বল ও ব্যাখ্যা কর।

(b) এক টুকরা বরফ (আপেক্ষিক গুরুত্ব = 0·9) কানায় কানায় জলভরা একটি পাত্রে ভাসিতেছে। জলের উপর উহার আয়তনের কত অংশ বাহির হইয়া থাকিবে? বরফ সম্পূর্ণ গলিলে জল উপছাইয়া পড়িবে কি না বুঝাও।

(c) স্প্রিং তুলায় এক বালতি জল ঝুলান আছে। দড়িতে বাঁধা লোহার দণ্ড উহাতে ডুবাইলে তুলার পাঠের কোন পরিবর্তন হইবে কি?

উঃ। **(a)** ('পদার্থের ধর্ম', 30 পৃষ্ঠা, 3-4 বিভাগ দেখ।)

(b) আপেক্ষিক গুরুত্ব s = ডোবা আয়তন (V_i)/মোট আয়তন V (3-4 বিভাগের

3-4.1 সমীকরণ)। অতএব বাহিরের আয়তন (V_o) = মোট আয়তন V − ডোবা আয়তন $V_i = sV$, অর্থাৎ $V_o/V = 1 - s$.

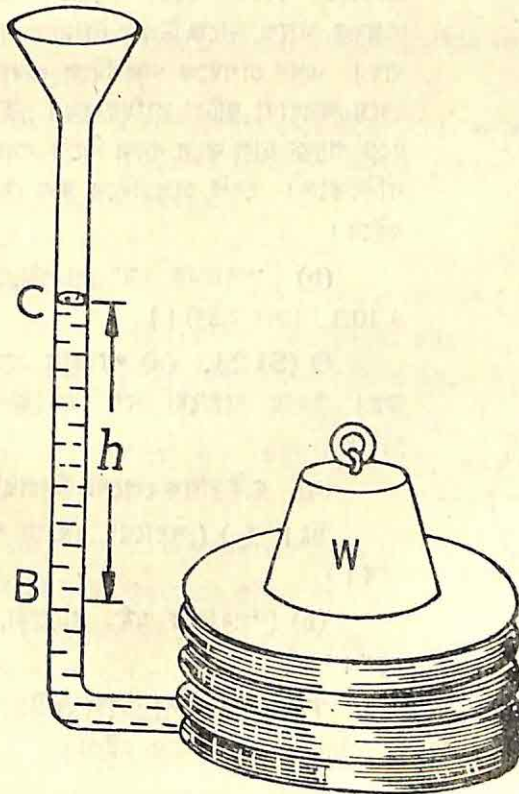
বরফের ক্ষেত্রে 0·9 অংশ ডুবিয়া থাকিবে ও $1 - 0·9 = 0·1$ অংশ জলের বাহিরে থাকিবে।

বরফ নিজ ওজনের সমান জল স্থানচ্যুত করিয়াছে। বরফ গলিয়া সম্পূর্ণ জল হইলে ঠিক এইটুকু স্থানই অধিকার করিবে। জল উপছাইয়া পড়িবে না ; কানায় কানায় ভরাই থাকিবে।

(c) লোহা জলে ডুবাইলে জল উহাতে ঊর্ধ্বচাপ দিবে। প্রতিক্রিয়ায় লোহা জলের উপর সমান নিম্নচাপ দিবে। অতএব তুলার পাঠ একটু বাড়িবে।

TGL 15. প্যাস্কাল সূত্র। **(a)** সূত্র সম্বন্ধীয় মৌলিক পরীক্ষণ আলোচনা করিতে হইবে।

(b) হাইড্রলিক প্রেসের তত্ত্ব বুঝাইতে হইবে। গঠনের খুঁটিনাটিতে প্রয়োজন নাই।

আলোচনা। **(a)** প্যাস্কাল নিজেই তরলে তাপ সঞ্চালন দেখাইবার একটি

চিত্র I. 4 (প্যাস্কালের চাপ সঞ্চালন সূত্র সংক্রান্ত পরীক্ষা)

সহজ পরীক্ষা উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। ফুলান যায় এমন একটি শক্ত থলি বা হাপর (I. 4 নং ছবি) জলে ভরিয়া উহার সঙ্গে তিনি কাচের শক্ত একটি নল জোড়েন। সাধারণ অবস্থায় নল ও থলিতে জল একই লেভ্‌লে থাকে। হাপরের উপরে লাগান শক্ত আসনের উপর কোন ভার চাপাইলে দেখা যায় নলে জল আর অল্প খানিকটা (B হইতে C-তে) উঠিয়া ভারকে প্রতিমিত (balance) করিতেছে। প্রতিমানের শর্ত

নলে উদ (hydrostatic) চাপ = হাঁপরে চাপ।

হাপরের প্রস্থচ্ছেদ a ও উপরের ভার W হইলে, এবং নলে জল h পরিমাণ উপরে উঠিলে

$$h\rho g = W/a.$$

a ও h বাড়াইয়া নলে অল্প জল দিয়াই বহুগুণ ভার প্রতিমান করা যায়।

প্যাস্কাল সূত্র প্রদর্শনের পরীক্ষা। পাশের ছবিতে প্যাস্কাল সূত্র প্রদর্শনের সহজ একটি যন্ত্র বুঝান হইয়াছে। ইহাতে কাচের গোল একটি পাত্রের সঙ্গে মোটা নল লাগান। নলে পিচকারীর মত চাপদণ্ড (piston) আছে। গোল পাত্রে একই আকারের কয়েকটি ছেঁদা আছে। যন্ত্রটি জলে ডুবাইয়া চাপদণ্ড আস্তে আস্তে উপরে টানিলে পাত্রটি জলে ভরিয়া যায়। এখন চাপদণ্ডে চাপ দিলে ছেঁদাগুলি দিয়া সমান বেগে জলধারা ছুটিয়া বাহির হয়। ইহাতে বোঝা যায় দণ্ডে প্রযুক্ত চাপ জলে সকল দিকে সমান ভাবে ছড়াইয়া পড়িতেছে। বেশী চাপ দিলে জল বেশী জোরে বাহির হইবে।

চিত্র I. 5 (প্যাস্কালের চাপ সঞ্চালন সূত্র প্রদর্শনের পরীক্ষা)

(b) ('পদার্থের ধর্ম', 38 পৃষ্ঠা, 3-10 ও 39 পৃষ্ঠা, 3-10.1 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

Q (S) 23. **(a)** প্যাস্কাল সূত্র বল ও ব্যাখ্যা কর। ইহার সাহায্যে বেশী বল কিভাবে প্রয়োগ করা যায়?

(b) হাইড্রলিক প্রেসের ক্রিয়ার তত্ত্ব বুঝাও।

উঃ। **(a)** (পদার্থের ধর্ম, 38 পৃষ্ঠা, 3-10 বিভাগ দেখ।)

(b) ('পদার্থের ধর্ম', 39 পৃষ্ঠা, 3-10.1 বিভাগ দেখ।)

TGL 16. বায়ুচাপ ও উহা মাপন। খুঁটিনাটি বাদ দিয়া কেবল ফর্টিনের ব্যারোমিটারের কথা বলিতে হইবে।

('পদার্থের ধর্ম', 44 পৃষ্ঠা, 3-12.1 বিভাগ দ্রষ্টব্য)

TGL 17. পাম্প। সরল ছবির সাহায্যে কেবল তত্ত্ব বুঝাইতে হইবে। নির্বাত পাম্পের ক্ষেত্রে পিস্টন পাম্প শিখাইতে হইবে ; ঘুরণি পাম্পের উল্লেখ করিতে হইবে। ঘুরণি ও ব্যাপন (Diffusion) পাম্পে কি ক্রমের নির্বাত (vacuum) পাওয়া যায় উল্লেখ করিতে হইবে।

আলোচনা। ('পদার্থের ধর্ম', 47-51 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য। ঘুরণি পাম্পের উল্লেখ আছে।) ভাল (আধুনিক) পিস্টন পাম্পে চাপ 1 mmHg-র বিশেষ নিচে নামান যায় না। ঘুরণি পাম্পে 10^{-3}mmHg ক্রমের চাপে পৌছা যায়। ব্যাপন পাম্পে $10^{-5}-10^{-6}$ mmHg চাপে নামা যায়। বিশেষ ব্যবস্থায় 10^{-8} mmHg চাপেও যাওয়া যায়।

তাপতত্ত্ব

TGL 18. পূর্বপঠিত বিষয়ের সংক্ষিপ্ত বৃত্তি। গোড়ায় সাদৃশ্যের সাহায্যে উষ্ণতার ধারণা আনা যাইতে পারে। গভীর ব্যাখ্যা পরে দেওয়া হইবে। সাধারণত CGS ও SI এককই ব্যবহার করা হইবে ; তবে B. Th. U. (বৃটিশ থার্মাল ইউনিট) ও উল্লেখ করিতে হইবে।

আলোচনা। জলতল (water level)-এর সঙ্গে উষ্ণতার সাদৃশ্য সহজেই বুঝান যায়। গোড়ায় ইহা করাই ভাল।

তাপসংক্রান্ত SI এককের ব্যবহারে সব চেয়ে উল্লেখযোগ্য ক্যালরির বদলে তাপ জুল এককে প্রকাশ করা। $1\ \text{cal} = 4{\cdot}1855\ \text{J}$ (=প্রায় 4·2 জুল)। ('তাপতত্ত্ব', অংশের 34 পৃষ্ঠার 5-1.1 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

এক পাউণ্ড বিশুদ্ধ জলকে 1°F উষ্ণ করিতে যে তাপের দরকার তাহাই এক বৃটিশ থার্মাল ইউনিট। ক্যালরিতে ইহার মান $1\ \text{Btu} = 453{\cdot}6 \times \frac{5}{9} = 252\ \text{cal}$।

(এককের এফপিএস পদ্ধতি কার্যত সর্বত্রই ত্যক্ত হইয়াছে। কিন্তু আমাদের ছাত্রদের এফপিএস পদ্ধতির বোঝা কেন টানিয়া চলিতে হইবে ইহার কারণ বোঝা যায় না। আমরা যাহারা প্রাচীন শিক্ষক, তাহারা আমাদের বহুপরিচিত পদ্ধতির মায়া কাটাইতে পারি নাই বলিয়াই কি? নবীনরা আগাইয়া শুকনা ডালগুলি কাটিয়া দিলেই ভাল হয়।)

Q(S)24. (a) তাপ ও উষ্ণতার প্রভেদ বুঝাও।

(b) থার্মমিটারে পারা ব্যবহারের স্থবিধা কি বল।

(c) যে উষ্ণতায় ফারেনহাইট স্কেলের পাঠ সেন্টিগ্রেড স্কেলের পাঠের দ্বিগুণ তাহা কত? উষ্ণতার নিরপেক্ষ (অনপেক্ষ ; Absolute) স্কেলে এই পাঠ কত?

(d) (ক) অ্যাবসলিউট স্কেলে, (খ) সেন্টিগ্রেড স্কেলে উষ্ণতা দ্বিগুণ করিলে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের অণুগুলির কি পরিবর্তন হইবে?

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 2 পৃষ্ঠায় 1-3 বিভাগ দেখ।)

(b) (i) পারা $-39°C$ উষ্ণতায় জমে এবং $357°C$ উষ্ণতায় ফোটে। অতএব উষ্ণতার অনেকখানি পাল্লার মধ্যে উহা ব্যবহার করা যায়।

(ii) পারার প্রসারণগুণাংক মোটামুটি বড় এবং উষ্ণতার অনেকখানি পাল্লার মধ্যে ইহা কার্যতঃ সুষম। অতএব পারা থার্মমিটারের স্কেলে $1°$ উষ্ণতা পরিবর্তন উষ্ণতার সমান পরিবর্তনই বুঝায়।

(iii) পারা তাপ সুপরিবাহী। অতএব কোন বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে পারা থার্মমিটার তাড়াতাড়িই বস্তুটির উষ্ণতায় আসে।

(iv) পারা অনচ্ছ ; কাচের ভিতর দিয়া উহা সহজেই দেখা যায়।

(v) ইহা কাচে লাগিয়া থাকে না।

(vi) পারা সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

(c) ধরা যাক সেন্টিগ্রেড স্কেলে পাঠ x। তাহা হইলে ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ $2x$। দুইএর সম্পর্ক $x = (2x - 32) \times \frac{5}{9}$ বা $x = 160$। $160°C = 320°F$।

অ্যাবসলিউট স্কেলে পাঠ $160 + 273 = 433$ K (কেলভিন)।

চিত্র I. 6 (পুলিঞ্জারের যন্ত্র)

(d) গতীয়তত্ত্ব (kinetic theory) অনুসারে গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি অ্যাবসলিউট স্কেলে উষ্ণতার সমানুপাতিক। অতএব অ্যাবসলিউট স্কেলে উষ্ণতা দ্বিগুণ হইলে গ্যাস অণুগুলির গতিশক্তি দ্বিগুণ হইবে।

সেন্টিগ্রেড স্কেলে উষ্ণতা প্রথমে $\theta°$ ও পরে $2\theta°$ হইলে, অ্যাবসলিউট উষ্ণতা $273 + \theta$ ও $273 + 2\theta$। অতএব গতিশক্তি $(273 + \theta) : (273 + 2\theta)$ অনুপাতে বাড়িবে।

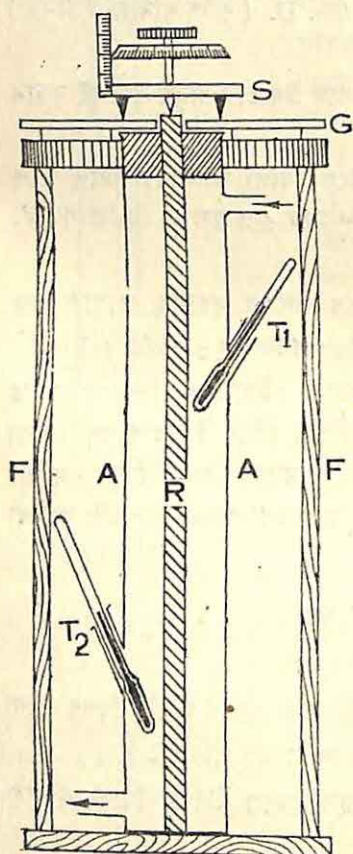
TGL 19. তাপীয় প্রসারণ।

(a) পুলিঞ্জারের উপায়ে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক নির্ণয়ের তত্ত্ব বর্ণনা করিতে হইবে।

(b) তরলের আপাত ও যথার্থ প্রসারণ গুণাংক নির্ণয়ের দরকার নাই।

(c) বয়েল সূত্র ও চার্লস সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়ের উপায় সংক্ষেপে আলোচনা করিতে হইবে।

(d) গ্যাসের আয়তন গুণাংক ও চাপ গুণাংক নির্ণয় বাদ দিতে হইবে।

আলোচনা। **(a)** পুলিঞ্জারের উপায়ে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক মাপিবার যান্ত্রিক ব্যবস্থা

I. 6 নং ছবিতে দেখান হইয়াছে। AA ধাতুনল FF ফ্রেমে খাড়াভাবে আঁটা। স্টীমের সাহায্যে উহাকে গরম করিবার জন্য নলের উপর ও নিচ দিকে দুইটি ছোট নল লাগান। তা ছাড়া, দুটি থার্মমিটারের সাহায্যে উহার উষ্ণতা মাপার জন্য দুটি তেরছা নলও উহাতে লাগান। এই দুই নলে T_1, T_2 থার্মমিটার দুটি বসান।

AA নলের নিচের মুখ বন্ধ। উপরের মুখে রবারের ছিপি ও তাহাতে একটি ছেঁদা আছে। নল তাপ কুপরিবাহী পদার্থে ঢাকা। পরীক্ষণীয় পদার্থের একটি দণ্ড (R) রবারের ছিপির মধ্য দিয়া ঢুকান। উহার দৈর্ঘ্য আগেই মাপিয়া নেওয়া হয়। নলের মাথা ছিপির উপর দিয়া একটু বাহির হইয়া থাকে। কাচের পাত G-র মাঝখানের ছেঁদা দিয়া স্ফেরোমিটার S-এর স্ক্রু দণ্ডের মাথায় ঠেকাইয়া ঘরের উষ্ণতায় উহার পাঠ নেওয়া হয়। তাহার পর স্ক্রু ঘুরাইয়া উহা একটু উপরে উঠাইয়া রাখা হয়।

এবার AA নলে স্টীম যাইতে দিয়া কিছুক্ষণ পর পর থার্মমিটারের পাঠ দেখা হয়। পাঠ বাড়িয়া স্থির হইলে স্ফেরোমিটার স্ক্রু আবার নলের মাথায় ঠেকাইয়া স্ক্রুর পাঠ দেখা হয়।

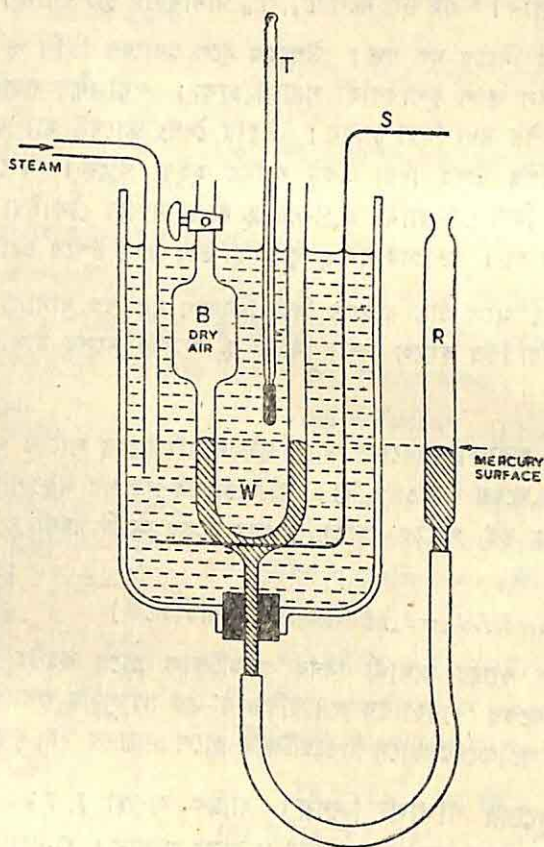
ধরা যাক, পরীক্ষা আরম্ভের আগে দুই থার্মমিটারের পাঠের গড় মান হইতে পাওয়া গিয়াছিল ঘরের উষ্ণতা t_1°C। স্টীম চালাইবার পর অনুরূপ স্থির পাঠ t_2°C। স্ফেরোমিটার স্ক্রুর দুই পাঠের প্রভেদ l, এবং দণ্ডের আদি দৈর্ঘ্য L। তাহা হইলে দৈর্ঘ্যপ্রসারণ গুণাংক

$$a = l/L(t_2 - t_1)$$ (প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে)

(b) বয়েল সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয় প্রাকটিকাল ক্লাশে করণীয় একটি পরীক্ষণ। উপায় বর্ণনা লেখকের 'ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞান'-এর 37 পৃষ্ঠায় করা আছে। সম্ভবত নির্দেশের উদ্দেশ্য পরীক্ষণের আগে থিওরেটিকাল ক্লাশে ছাত্রদের উহা বুঝাইয়া দেওয়া।

চার্লস সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়। যান্ত্রিক ব্যবস্থা I. 7 নং ছবিতে দেখান আছে। একটি U-নলের এক বাহুর মাথায় B বালব লাগান। U-নলের সঙ্গে পারাপাত্র R লাগান। পরীক্ষণীয় গ্যাস বালবের উপরের স্টপকক দিয়া ভিতরে টানিয়া নেওয়া হয়। বালবের নিচের নলের খানিক অংশ আয়তনে ক্রমাংকিত। বালব ও নলের কোন দাগ পর্যন্ত মোট আয়তন কত তাহার মান ঐ দাগের পাশে লেখা। U-নল জলগাহে (water bath-এ) ঘেরা। জলে ডুবান একটি নল দিয়া স্টীম চালাইয়া জল গরম করা হয়। থার্মমিটারে এই উষ্ণতা মাপা হয়। জল নাড়ার একটি কাঠি থাকে।

প্রথমে জলে বরফ মিশাইয়া উহার উষ্ণতা 0°C করা হয়। উষ্ণতা স্থির রাখিয়া পারাপাত্র উঠাইয়া বা নামাইয়া U-নলের দুই বাহুতে পারার মাথা সমান করিয়া গ্যাসের আয়তনের পাঠ নেওয়া হয়। নির্দিষ্ট ভর পরীক্ষণীয় গ্যাসের তৎকালীন বায়ুচাপে 0°C-তে আয়তন এই আয়তন V_0।

স্টীম চালাইয়া জলের উষ্ণতা 8 – 10 ডিগ্রী বাড়াইয়া উষ্ণতা সেই মানে কিছুক্ষণ স্থির রাখিয়া আবার U-নলের দুই বাহুতে পারার মাথা এক লেভলে আনিয়া আয়তনের পাঠ দেখা হয়। এই ভাবে যে কয়টি সম্ভব পাঠ নেওয়া হয়।

চিত্র I. 7 (চার্লস সূত্রের যাথার্থ্য নির্ণয়)

আয়তন ও উষ্ণতার এই সকল পাঠ নিয়া $V-t$ গ্রাফ আঁকা হয়। দেখা যায় এই গ্রাফ সরলরেখা। ইহাতে $V_t = V_o\,(1 + a_p t)$ সম্পর্ক সমর্থিত হয়। ইহাই চার্লস সূত্র। a_p = স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাংক।

Q(S) 25. **(a)** দেওয়াল ঘড়ি গ্রীষ্মকালে 'স্লো' এবং শীতকালে 'ফাস্ট' যায় কেন? ইহার প্রতিকারের জন্য কি ব্যবস্থা করা যায়?

(b) 0°C উষ্ণতায় লোহার ও জিংকের দুইটি দণ্ড যথাক্রমে 25·55 cm ও 25·5 cm লম্বা। উহাদের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক যথাক্রমে 12×10^{-6}/°C ও 34×10^{-6}/°C হইলে কি উষ্ণতায় উহাদের দৈর্ঘ্য সমান হইবে?

(c) ঠিক সমান মাপের দুই খণ্ড লোহা ও জিংক পাত রিভেট করিয়া আঁটা। উষ্ণ করিলে ফল কি হইবে বল।

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব', 12 পৃষ্ঠা, (7) অংশ দেখ।)

(b) ধরা যাক t°C-তে উভয় দৈর্ঘ্য সমান হয়। তাহা হইলে,

$$25{\cdot}55(1+12\times10^{-6}t)=25{\cdot}5(1+34\times10^{-6}t) \text{ হইবে।}$$

এই সমীকরণ হইতে t-র মান পাওয়া যায় 89·2। অতএব 89·2°C-তে উভয় দৈর্ঘ্য সমান হইবে।

(c) ('তাপতত্ত্ব', 5 পৃষ্ঠা, 2-1.1 বিভাগ দেখ।) লোহার চেয়ে জিংকের প্রসারণ বেশী বলিয়া বাঁকা পাত লোহার দিকে অবতল হইবে। লোহা থাকিবে ভিতরের দিকে; জিংক বাহিরে।

Q(S) 26. (a) জলের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য কি? ইহা কি ভাবে দেখান যায়? প্রকৃতিতে এই বৈশিষ্ট্যের কোন সুফল দেখা যায় কি?

(b) তরলের আপাত ও যথার্থ প্রসারণ গুণাংক কাহাদের বলে? উহাদের সম্পর্ক স্থাপন কর।

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব', 19 পৃষ্ঠার 3-3 বিভাগ ও 21 পৃষ্ঠার 3-3.1 বিভাগ দেখ।)

(b) ('তাপতত্ত্ব', 17 পৃষ্ঠার 3-1.1 বিভাগ দেখ।)

Q(S) 27. (a) গ্যাসের আয়তন গুণাংক ও চাপ গুণাংকের সংজ্ঞা দাও। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে উহারা সমান, ইহা প্রমাণ কর।

(b) 27°C উষ্ণতায় ও 70 cm পারার চাপে খানিকটা অক্সিজেনের আয়তন 400 cm³। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় আয়তন কত হইবে?

ইহাতে PV গুণফলের কত পরিবর্তন হয়? ($R=2$ ক্যালরি)

(c) একটি পাত্রে অক্সিজেন ভরিয়া চাঁদের আলোকিত অংশে নেওয়া হইল। পাত্রটি (ক) ইস্পাতের চোঙ, (খ) রবারের বেলুন হইলে কোন ক্ষেত্রে কি পরিবর্তন হইবে?

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব', 24 পৃষ্ঠা, এবং 30 পৃষ্ঠার 4-8 ও 4-8.1 বিভাগ দেখ।)

(b) $P_1V_1/T_1=P_2V_2/T_2$ সমীকরণ প্রয়োগে প্রথম অংশের উত্তর পাওয়া যাইবে।

$$P_1=70 \text{ cm Hg},\ V_1=400 \text{ cm}^3,\ T_1=(273+27) \text{ K}$$

$P_2=76$ cm Hg, V_2 বাহির করিতে হইবে, $T_2=273$ K। উত্তর—335·4 cm³।

[প্রশ্নের দ্বিতীয় অংশে $R=2$ ক্যালরি বলাটা অদ্ভুত। $PV=RT$ সমীকরণে R-এর মান যতটা গ্যাস নেওয়া হইয়াছে তাহার ভরের উপর নির্ভর করে। এক মোল (mole বা gram-molecule) গ্যাসে $R=$ প্রায় 2 calorie per kelvin per mole

('তাপতত্ত্ব', 28 পৃষ্ঠা, 4-6.2 বিভাগ দ্রষ্টব্য ; 8·31 erg প্রায় 2 ক্যালরির সমান)। এক্ষেত্রে গ্যাস নেওয়া হইয়াছে প্রায় 0·015 মোল। তাহার R প্রায় 0·03 ক্যালরি। PV গুণফলের পরিবর্তন $P_2V_2 - P_1V_1 = R(T_2 - T_1)$। R-এর উপযুক্ত মান দিয়া দেওয়াই উচিত ছিল। নহিলে ছাত্র $R = 2$ cal হইতে প্রযোজ্য মান হিসাব করিয়া লইবে, ইহাতে অঙ্কটি একটু বেশী জটিল হয়। তাছাড়া, $R = 2$ ক্যালরি বলা অর্থ অসম্পূর্ণ এককে মান প্রকাশ করা। ইহা অত্যন্ত দোষাবহ। ইহাতে এককের শুদ্ধ প্রয়োগ সম্বন্ধে শৈথিল্য প্রকাশ পায়। (এই পরিশিষ্টের 2 পৃষ্ঠায় TGL 3 দ্রষ্টব্য।)]

(c) [ইহা একটি কষ্ট কল্পিত প্রশ্ন; ইহার সঠিক অর্থ বোঝা শক্ত। চাঁদে বায়ুমণ্ডল নাই; আলোকিত অংশে (যে অংশে চাঁদের দিন) উষ্ণতা আমাদের সাধারণ উষ্ণতার চেয়ে বেশী, এ সকল তথ্য ছাত্রের জানা বলিয়া ধরিয়া নেওয়া হইয়াছে।

স্টীলের তৈয়ারী পাত্রে বাহ্যত কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না। যে উষ্ণতায় উহাতে গ্যাস ভরা হইয়াছিল, চাঁদে উষ্ণতা তাহার চেয়ে বেশী হইলে গ্যাসের চাপ বাড়িবে।

বেলুনেও তাহা হইলে গ্যাসের চাপ বাড়িবে। উপরন্তু চাঁদে বায়ুমণ্ডল না থাকায় বেলুন স্ফীত হইয়া ফাটিয়া যাইতে পারে।]

TGL 20. ক্যালরিমিতি। আপেক্ষিক তাপ দুইটি তাপের অনুপাত এ (প্রাচীন) সংজ্ঞা শিখাইতে হইবে না। **কোন পদার্থের একমাত্রা ভর এক ডিগ্রী উষ্ণ করিতে যে তাপ দরকার তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ**—কেবল এই সংজ্ঞাই শিখাইতে হইবে।

আলোচনা। ('তাপতত্ত্ব', 35 পৃষ্ঠা, 5-2.1 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

Q(S) 28. **(a)** আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দাও। উহার মান ভরের একক ও উষ্ণতার এককের উপর কিভাবে নির্ভর করে দেখাও।

(b) জলে অদ্রবণীয় পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কি ভাবে বাহির করিবে?

(c) তোমার থার্মমিটারের পাল্লা 50°C হইতে 150°C পর্যন্ত। ইহা দিয়া 50°C-র চেয়ে কম উষ্ণতার জলের উষ্ণতা কি ভাবে মাপিবে?

(d) দুইটি ঠিক একই রকম পাত্রের একটিতে জল ও অন্যটিতে সমপরিমাণ দুধ ঘরের উষ্ণতায় রাখা আছে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তুলিতে উহাদের কোন্‌টি কম তাপ নিবে ব্যাখ্যা কর।

(e) 0°C উষ্ণতার 50g বরফ 25°C উষ্ণতার 100g জলে মিশাইলে ফল কি হইবে?

(f) 100°C উষ্ণতার জলীয় বাষ্প গায়ে লাগা একই উষ্ণতার জল গায়ে লাগার চেয়ে বেশী পীড়াদায়ক কেন?

উঃ। **(a)** (TGL 20 ও 'তাপতত্ত্ব', 35 পৃষ্ঠা, 4-2.1 বিভাগ দেখ।)

কোন পদার্থের একমাত্রা ভর এক ডিগ্রী উষ্ণ করিতে যে তাপের দরকার তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ—এই সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক তাপের মান প্রকাশক সংখ্যা ভরের একক, উষ্ণতা ব্যবধানের একক ও তাপের একক, এই তিনটির উপরই নির্ভর করিবে।

উদাহরণ— 1g জল 1°C উত্তপ্ত করিতে 1 cal (বা 4·2 J) তাপ দরকার।
এমকেএস একক নিলে 1 kg " " " 1000 cal তাপ দরকার।
এফপিএস একক নিলে 1 lb " 1°F " " $453·6 \times \frac{5}{9} = 252$ cal বা 1 Btu তাপ দরকার।

(b) ('তাপতত্ত্ব', 39 পৃষ্ঠার 5-5 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

পরীক্ষণীয় পদার্থের জানা ওজনের একখণ্ড নিয়া উহাকে একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তুলিয়া ক্যালরিমিটারের জলে ফেলিয়া জলের চরম উষ্ণতা দেখিতে হইবে। 40 পৃষ্ঠার 5-5.2 সমীকরণে s ছাড়া আর সকল রাশি জানা থাকিলে পদার্থের s (আপেক্ষিক তাপ) পাওয়া যাইবে।

(c) খানিকটা জল বেশী উষ্ণ করিয়া ($t > 50$°C) পরীক্ষণীয় জলে মিশাইলে মিশ্রিত জলের উষ্ণতা 50°C-র বেশী করা যায়। তখন আগের জলের উষ্ণতা হিসাব করিয়া পাওয়া যাইবে। ধরা যাক

পরীক্ষণীয় জলের ভর $= m_1$ গ্রাম ও উষ্ণতা $= t_1$°C। ইহার সঙ্গে t_2°C-র m_2 গ্রাম উষ্ণ জল মিশান হইল। মিশ্রিত জলের উষ্ণতা t হইলে, বর্জিত তাপ $m_2(t_2 - t) =$ গৃহীত তাপ $m_1(t - t_1)$ হইতে t পাওয়া যাইবে। ক্যালরিমিটারের তাপ গ্রহণ উপেক্ষা করা হইয়াছে।

(d) সকল কঠিন ও তরল পদার্থের মধ্যে জলের আপেক্ষিক তাপ সবচেয়ে বেশী। সমপরিমাণ দুধ ও জল সমান উষ্ণ হইতে দুধ তাপ নিবে কম কারণ উহার আপেক্ষিক তাপ কম।

(e) বরফ গলিতে প্রতি গ্রামে 80 ক্যালরি করিয়া তাপ নেয়। সব বরফ গলিতে $50 \times 80 = 4000$ ক্যালরি তাপ দরকার। জল ঠাণ্ডা হইয়া বড়জোর 0°C-তে আসিতে পারে। ইহাতে 100g জল $100 \times 25 = 2500$ ক্যালরি তাপ দিবে। অতএব সব বরফ গলিবে না। 2500 ক্যালরি তাপে $2500/80 = 31·25$g বরফ গলিবে। বাকীটা (18·75g) বরফই থাকিয়া যাইবে। অতএব ফল হইবে 0°C-তে 18·75g বরফ ও $100 + 31·25 = 131·25$g জল।

(f) বাষ্প জমিয়া 100°-তে জল হইতে প্রতি গ্রামে প্রায় 540 ক্যালরি তাপ ছাড়িবে। সমভর জলের তুলনায় বাষ্প অনেক বেশী তাপ দিবে বলিয়া উহাতে যন্ত্রণা বেশী হইবে।

TGL 21. অবস্থা পরিবর্তন। (a) বটমলি (Bottomley) ও ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা দুইটি দেখাইতে হইবে।

(b) আবহতত্ত্বে হাইগ্রোমিতির প্রয়োগের কথা বলিতে হইবে।

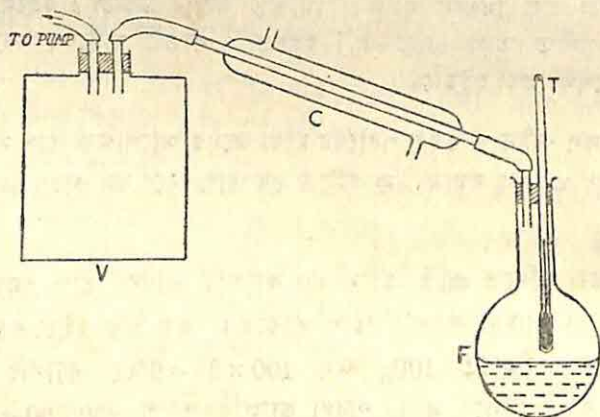
আলোচনা। (a) খুব কম স্কুলেই বটমলির পরীক্ষা দেখান সম্ভব হইবে। সময়মত যথেষ্ট বড় একখণ্ড বরফ পাওয়ার অসুবিধাই ইহার কারণ। পাইলে, তামার নগ্ন, সরুতারে যতবেশী সম্ভব ভার ঝুলাইয়া পরীক্ষা দেখাইবার ব্যবস্থা করিতে হইবে। মোটা তারে বরফ কাটিতে দেরী হইবে। তার ঢাকা থাকিলে কাটা যাইবে না। পরীক্ষায় সাফল্যের জন্য তাপ সুপরিবাহী তার এবং বেশী চাপ দরকার।

ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা 'তাপতত্ত্বের' 53 পৃষ্ঠায় বলা আছে। ইহা সহজেই দেখান যায়। জল একটু বেশীক্ষণ এবং তাড়াতাড়ি ফুটান ভাল। ইহাতে ফ্লাস্কের ভিতরের বায়ু বাহির হইয়া যাইবে।

(b) ('তাপতত্ত্ব', 61 পৃষ্ঠা, 7-1 বিভাগের শেষাংশ দ্রষ্টব্য।)

Q (S) 29. (a) উবন ও স্ফুটনে প্রভেদ বল। উবনের হার কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে আলোচনা কর।

(b) তরলের স্ফুটনাংক চাপের উপর নির্ভর করে, চিত্রের সাহায্যে এমন একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব', 54 পৃষ্ঠা, 6-9 বিভাগের শেষ প্যারা। দ্বিতীয় অংশের জন্য 49 পৃষ্ঠার 6-6 বিভাগ দেখ।)

চিত্র I. 8 (স্ফুটনাংকের উপর চাপের ক্রিয়া)

(b) উপরের ছবিতে দেখান ব্যবস্থায় স্ফুটনাংকের উপর চাপের ক্রিয়া দেখান যায়। এক লিটার আয়তনের শক্ত কাচের একটি ফ্লাস্ক (F) নিয়া উহা জলে আংশিক ভরিয়া দুটি ছেঁদাওয়ালা রবারের ছিপি দিয়া উহার মুখ বন্ধ করা হইল। এক ছিপি দিয়া একটি থার্মমিটার (T) ঢুকান। অন্যটি একটি কনডেনসারের (C) সঙ্গে যুক্ত।

কনডেনসারের অন্য মাথা V পাত্রে লাগান। V-র সঙ্গে দরকার মত নির্বাত (Vacuum) পাম্প বা চাপন পাম্প যোগ করা যায়। V পাত্রে চাপ কত হইল তাহা দেখিবার জন্য একটি প্রেষমান (Manometer)-ও লাগান থাকে। পাম্পের সাহায্যে জলের উপর বায়ু চাপ ইচ্ছামত কমান বা বাড়ান যায়।

ফ্লাস্কে বুনসেন শিখা দিয়া তাপ দিলে ক্রমে জল ফুটিতে থাকে। ফুটন্ত জলের বাষ্প কনডেনসারে তরল হইয়া আবার ফ্লাস্কে ফিরিয়া আসে। বাষ্পের উষ্ণতা ও ফুটন্ত জলের উষ্ণতা একই। T-র সাহায্যে ইহা দেখা যায়।

চাপন পাম্পের সাহায্যে V-তে বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী করিলে দেখা যাইবে ফুটন্ত জলের উষ্ণতা 100°C-র চেয়ে বেশী হয়। চাপ কমাইলে উহা 100°C-র চেয়ে কম হয়। চাপ বেশী কমিলে স্ফুটনাংকও অনেক কমে।

Q (S) 30. **(a)** শিশিরাংক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা দাও। ইহাদের মাপিবার কোন উপায় বর্ণনা কর।

(b) কোন সময়ে বায়ুর উষ্ণতা 24·3°C এবং শিশিরাংক 16°C। 24°C এবং 25°C-তে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ 22·2 ও 23·5 mm পারা ও 16°C-তে 13·5 mm পারা হইলে, ঐ সময়ে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত?

(c) কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আপেক্ষিক আর্দ্রতা একটা সীমার মধ্যে থাকিলে আমরা আরাম বোধ করি কেন?

উঃ। **(a)** ('তাপতত্ত্ব', 62 পৃষ্ঠার 7-3 বিভাগে ও 64 পৃষ্ঠায় (7-4 বিভাগে) সংজ্ঞা পাইবে। মাপনের জন্য 'রেনোর হাইগ্রোমিটার', 64 পৃষ্ঠা দেখ।)

(b) 24·3°C-তে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ না দিয়া তাহার বদলে 24° ও 25°-তে উহাদের মান দেওয়া হইয়াছে। এই হ্রস্বসীমার মধ্যে বাষ্পচাপ উষ্ণতা পরিবর্তনের আনুপাতিক ধরিয়া 24·3°C-তে উহার মান বাহির করা যায়।

1°C উষ্ণতা পরিবর্তনে বাষ্পচাপ পরিবর্তন $= 23{\cdot}5 - 22{\cdot}2 = 1{\cdot}3$ mmHg।

অতএব 0·3°C " " " $= 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}3 = 0{\cdot}39$ mmHg।

$\therefore$ 24·3°C-তে বাষ্পচাপ $= 22{\cdot}2 + 0{\cdot}39 = 22{\cdot}59$ mmHg।

নির্ণেয় আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= \dfrac{22{\cdot}59}{13{\cdot}5} \times 100 = 16{\cdot}8$ (প্রায়)।

(c) শরীর হইতে বাড়তি তাপ বাহির হইয়া যাওয়ার উপর আমাদের আরাম-বোধ বহুলাংশে নির্ভর করে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আপেক্ষিক আর্দ্রতা একটা পাল্লার মধ্যে থাকিলে তাপক্ষয় আরামদায়ক সীমার মধ্যে থাকে। আর্দ্রতা বেশী হইলে তাপক্ষয়ের হার কমে এবং ঘাম হইতে থাকে। আর্দ্রতা কম হইলে শুক্‌না লাগে।

TGL 22. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক। $PV^\gamma =$ স্থির রাশি, ইহা প্রমাণ করিতে হইবে না।

Q (S) 31. **(a)** তাপগতিতত্ত্বের প্রথম সূত্রটি বল। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক মাপিবার একটি উপায় বর্ণনা কর।

(b) কোন জলপ্রপাতের উচ্চতা 60m। জলের স্থিতিশক্তি সম্পূর্ণরূপে তাপে পরিণত হইয়াছে এবং উৎপন্ন তাপ জলেই আছে ধরিয়া প্রপাতের উপরে-নীচে উষ্ণতার পরিবর্তন কত হইবে হিসাব কর। ($J = 4{\cdot}2$ জুল/ক্যালরি)

উঃ। **(a)** ('তাপতত্ত্ব', 91 পৃষ্ঠা, 10-1.1 বিভাগ, 10-1.1 সমীকরণ। J মাপনের জন্য 93 পৃষ্ঠার 10-3 বিভাগ দেখ।)

(b) ('তাপতত্ত্ব', 93 পৃষ্ঠার 4 নং প্রশ্ন ও উহার সমাধান দেখ। সিজিএস একক ব্যবহার করিও ; তাপ ক্যালরিতে থাকায় ইহা করা দরকার। উত্তর—0·14°C।)

একটি অতিরিক্ত প্রশ্ন। SI এককে তাপের একক জুল। এই পদ্ধতিতে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক (বা জুল তুলাংকের) মান কত হইবে ?

উঃ। এই তুল্যাংকের সংজ্ঞা অনুসারে ইহা কার্য/তাপ। এককের SI পদ্ধতিতে উভয় রাশির একক জুল। অতএব SI একক ব্যবহার করিলে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক = 1 হইবে। এই পদ্ধতিতে তুল্যাংকের কোন প্রয়োজন থাকে না।

Q (S) 32. **(a)** গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের মূল স্বীকার্য (অঙ্গীকার)-গুলি বল।

(b) গতীয় তত্ত্ব অনুসারে উষ্ণতার ব্যাখ্যা দাও।

(c) অণুগুলির এলোমেলো গতির একটি পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও।

উঃ। **(a)** ('তাপতত্ত্ব', 86 পৃষ্ঠার 9-3 বিভাগ দেখ।)

(b) ('তাপতত্ত্ব', 87 পৃষ্ঠার 9-5 বিভাগ দেখ।)

(c) (ঐ, 85 পৃষ্ঠা দেখ।)

Q (S) 33. **(a)** গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুসারে চাপের যে ব্যঞ্জক (expression) পাওয়া যায় তাহার সাহায্যে বয়েল সূত্র প্রতিষ্ঠা কর।

(b) বাস্তব গ্যাসের আচরণ আদর্শ গ্যাসের মত হয় না কেন ?

(c) এক লিটার আয়তনের একটি পাত্রে 10^{23} অক্সিজেন অণু আছে। অক্সিজেন অণুর ভর $5{\cdot}3 \times 10^{-23}$ g এবং বেগের বর্গমাধ্য মূল 4×10^{4} cm/s হইলে, পাত্রে গ্যাসের চাপ কত ?

(মূল প্রশ্নটিতে কোন রকম ছাপার ভুল আছে বলিয়া মনে হয়। প্রশ্নের রূপ যথাসম্ভব অক্ষুণ্ণ রাখিয়া উহা একটু বদলাইয়া দেওয়া হইল।)

(d) (i) উষ্ণতা বাড়িলে, (ii) ঘনত্ব কমিলে আদর্শ গ্যাসের বেগের বর্গমাধ্য মূলের কি পরিবর্তন হয় ?

উঃ। **(a)** গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুসারে চাপের ব্যঞ্জক $P = \frac{1}{3}mnC^2$। ইহাতে P = চাপ, m = গ্যাস অণুর ভর, $n = 1\text{cm}^3$ গ্যাসে অণুর সংখ্যা ও C = বেগের বর্গমাধ্য মূল।

জানা আছে, স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ উহার অ্যাবসলিউট (বা কেলভিন) উষ্ণতা T-র সমানুপাতিক। অতএব $P_1/T_1 = P_2/T_2$। $P_1 = \frac{1}{3}mnC_1{}^2$, ও $P_2 = \frac{1}{3}mnC_2{}^2$ হইলে এই মান বসাইয়া পাই

$C_1{}^2/T_1 = C_2{}^2/T_2 =$ স্থির রাশি।

ইহা হইতে দেখা যায় গ্যাস অণুর বেগের বর্গের গড় মান উহার কেলভিন উষ্ণতার সমানুপাতিক।

$P = \frac{1}{3}mnC^2$ সমীকরণে উভয় দিক গ্যাসের আয়তন V দিয়া গুণ করা যাক। তাহা হইলে $PV = \frac{1}{3}mnVC^2$ হইবে। mnV গৃহীত গ্যাসের ভর।

অতএব C^2 স্থির থাকিলে অর্থাৎ উষ্ণতা স্থির থাকিলে নির্দিষ্ট ভর গ্যাসের PV গুণফল স্থির থাকিবে। ইহাই বয়েল সূত্র।

(b) ('তাপতত্ত্ব', 89 পৃষ্ঠার 9-6 বিভাগ দেখ।)

(c) $P = \frac{1}{3}mnC^2$ সমীকরণে এক্ষেত্রে $m = 5{\cdot}3 \times 10^{-23}\text{g}$,

$n = 10^{23}/1000 = 10^{20}/\text{cm}^3$, $C^2 = (4 \times 10^4 \text{ cm/s})^2$। অতএব চাপ

$$P = \tfrac{1}{3} \times 5{\cdot}3 \times 10^{-23}\,(\text{g}) \times 10^{20}\,(\text{cm}^{-3}) \times 16 \times 10^5\,(\text{cm}^2/\text{s}^2)$$
$$= \tfrac{1}{3} \times 5{\cdot}3 \times 16 \times 10^5 \text{ g cm}^{-1}\text{ s}^{-2} = 2{\cdot}83 \times 10^6 \text{ cgs units}$$
$$(= \text{dyn/cm}^2)$$

(জানা আছে $1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2 = 1 \text{ atm}$ (এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ)। অতএব এক্ষেত্রে চাপ প্রায় 2·8 বায়ুমণ্ডল।)

(d) (i) উষ্ণতা বাড়িলে বেগের বর্গের গড় মান (বর্গমাধ্য $= C^2$) কেলভিন উষ্ণতার সমানুপাতে বাড়ে।

(ii) ঘনত্ব কমায় C-র কোন পরিবর্তন হয় না, কারণ নির্দিষ্ট গ্যাসে উহার মান কেবল উষ্ণতা দিয়া নির্ণীত হয়।

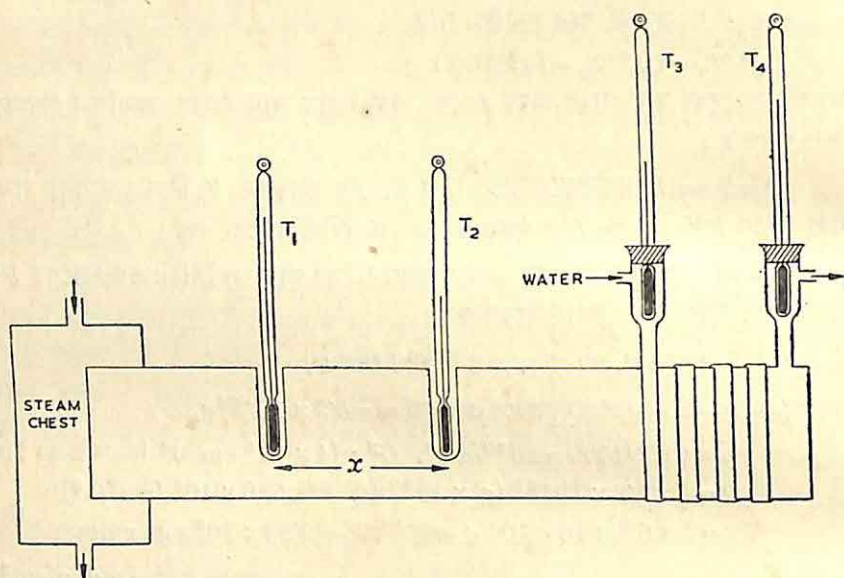
TGL 23. তাপ সঞ্চালন। **(a)** সার্লের উপায়ে কঠিন পদার্থের তাপ পরিবাহিতা মাপন খুঁটিনাটি বাদ দিয়া বর্ণনা করিতে হইবে।

(b) তাপ সুপরিবাহী পদার্থ বিদ্যুৎও ভাল পরিবরহণ করে একথা বলিতে হইবে।

(c) থার্মমেট্রিক পরিবাহিতা উল্লেখের কোন প্রয়োজন নাই।

আলোচনা। **(a)** সার্লের উপায়ে তাপ সুপরিবাহী পদার্থের পরিবাহিতা মাপা যায়। উপায়টি নিচে সংক্ষেপে বলা হইল।

পরীক্ষণীয় পদার্থটি অল্প লম্বা, মোটা একটি দণ্ডের আকারে নেওয়া হয়। উহার একপ্রান্ত বাষ্পপ্রকোষ্ঠে ঢুকান। অন্য প্রান্তে কয়েক পেঁচ পাতলা তামার নল জড়ান; এই নল দিয়া নির্দিষ্ট উষ্ণতার জল প্রবাহিত হয়। ইহাতে নলের একপ্রান্ত গরম ও অন্যপ্রান্ত ঠাণ্ডা থাকে ও দণ্ড দিয়া তাপ স্থির হারে প্রবাহিত হয়। তাপ প্রবাহের

হার মাপার জন্য দণ্ডের মাঝামাঝি জায়গায় নির্দিষ্ট (x) দূরত্বে দুইটি গর্ত করিয়া উহাতে দুইটি থার্মমিটার (T_1 ও T_2) বসান হয়। থার্মমিটারে ও দণ্ডে ঘনিষ্ঠ সংযোগের জন্য

চিত্র I. 9 (সার্লের উপায়ে তাপ পরিবাহিতা মাপন)

দুই গর্তে একটু করিয়া পারা (mercury) ঢালা থাকে। দণ্ডে প্রবাহিত তাপে উহার ঠাণ্ডা প্রান্তে নল দিয়া প্রবাহিত জল একটু উষ্ণ হয়। T_3 থার্মমিটার নলে ঢোকার পথে জলের উষ্ণতা, এবং T_4 বাহির হইয়া যাওয়ার সময় জলের উষ্ণতা মাপে।

বাষ্প প্রকোষ্ঠে বাষ্প ও নলে জল কিছুক্ষণ ধরিয়া চলিতে থাকিলে ক্রমে দেখা যায় থার্মমিটার চারটির পাঠ বিভিন্ন মানে স্থির হইয়া আছে। এই পাঠগুলি নেওয়া হয়। T_1, T_2-র পাঠ θ_1, θ_2 এবং T_3, T_4-এর পাঠ θ_3, θ_4 ধরা যাক। t সেকেণ্ডে নল দিয়া m গ্রাম জল গিয়া থাকিলে, দণ্ড দিয়া ঐ সময়ে $m(\theta_4 - \theta_3)$ ক্যালরি তাপ প্রবাহিত হইয়াছে। দণ্ডের ব্যাসার্ধ r হইলে উহার প্রস্থচ্ছেদ $S = \pi r^2$। দণ্ডে উষ্ণতার নতি (temperature gradient) $= (\theta_1 - \theta_2)/x$। অতএব তাপ পরিবাহিতা K-র সংজ্ঞা অনুসারে,

$$K = \frac{\text{প্রবাহিত তাপ}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ} \times \text{উষ্ণতার নতি} \times \text{সময়}} = \frac{m(\theta_4 - \theta_3) \times x}{S \times (\theta_1 - \theta_2) \times t}.$$

দণ্ডে প্রবাহিত তাপ যাহাতে উহার পাশ দিয়া বাহির হইয়া না যায় সে জন্য দণ্ড পালিশ করা ও তাপ কুপরিবাহী পদার্থে ঢাকা থাকে।

(b) ধাতুগুলির তাপ ও বিদ্যুৎ পরিবহণ করিবার ক্ষমতা অন্যান্য পদার্থের তুলনায় অনেক বেশী। ইহাতে মনে হয় উভয় পরিবহণের প্রক্রিয়া প্রধানতঃ একই রকমের। ধাতুতে মুক্ত ইলেকট্রনগুলি বিদ্যুৎ পরিবহণ করে। তাপ পরিবহণও

প্রধানতঃ উহাদের সাহায্যেই হয়। পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তাপ পরিবাহিতা/বিদ্যুৎ পরিবাহিতা অনুপাতটি সকল ধাতুতে একই। এই অনুপাত কেলভিন উষ্ণতার আনুপাতিক।

Q(S) 34. (a) তাপ পরিবাহিতার সংজ্ঞা দাও। সুপরিবাহী কঠিন পদার্থে ইহার মান কি ভাবে বাহির করা যায় ?

(b) 2 cm^2 প্রস্থচ্ছেদের 10 cm লম্বা একটি দণ্ডের একপ্রান্ত বাষ্প প্রকোষ্ঠে ও অন্যপ্রান্ত একচাপ বরফের সঙ্গে লাগান। দণ্ডের পদার্থের তাপ পরিবাহিতা 0·25 সিজিএস একক হইলে এক মিনিটে কত বরফ গলিবে ?

(c) তাপ পরিচলন কাহাকে বলে ? পরিবহণের সঙ্গে ইহার প্রভেদ কি ? আবহাওয়ার সঙ্গে পরিচলনের কি সম্পর্ক আছে।

(d) আকাশ মেঘলা থাকিলে রাত্রে গরম বোধ হয় কেন ?

(e) শীতে মোটা একটি জামার বদলে উহার অর্ধেক মোটা দুইটি জামা পরিলে বেশী আরাম বোধ হয় কেন ?

উঃ। (a) (সংজ্ঞার জন্য 'তাপতত্ত্ব', 72 পৃষ্ঠা দেখ। মাপনের জন্য TGL 23-এর (a) অংশ দেখ।)

(b) এখানে প্রস্থচ্ছেদ $S = 2 \text{ cm}^2$। দুই প্রান্তে উষ্ণতা 100°C ও 0°C। দুই প্রান্তের দূরত্ব 10 cm হওয়ায় উষ্ণতার নতি $(T_1 - T_2)/x = 100/10$ (সিজিএস একক) সময় 1 min = 60s। $K = 0{\cdot}25$ সিজিএস একক। অতএব

প্রবাহিত তাপ $Q = KS(T_1 - T_2)\, t/x$

$= 0{\cdot}25 \times 2 \times 10 \times 60 = 300$ ক্যালরি।

(c) (প্রথম অংশ—'তাপতত্ত্ব', 69 পৃষ্ঠা দেখ।

স্থলবায়ু, জলবায়ু ('তাপতত্ত্ব', 77 পৃষ্ঠা), অসমান তাপনের জন্য বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন বায়ুস্রোত (বাণিজ্য বায়ু, ইত্যাদি) ও মহাসমুদ্রে বিভিন্ন সমুদ্রস্রোত (গাল্‌ফ্‌ স্ট্রীম, ইত্যাদি) পরিচলনের জন্যই ঘটে।

(d) ('তাপতত্ত্ব', 80 পৃষ্ঠা দেখ।)

(e) ('তাপতত্ত্ব', 74 পৃষ্ঠার দ্বিতীয় প্যারা দেখ।)

কম্পন ও তরঙ্গ

TGL 24. (a) দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা হইতে দোলনের উদাহরণ নিয়া আলোচনা করিতে হইবে। **সরল দোলনের সমীকরণ স্থাপন করিতে হইবে।** সংশ্লিষ্ট রাশিগুলির অর্থ পরিষ্কার করিয়া বুঝাইতে হইবে। সরল দোলনের লেখচিত্রের সঙ্গে পরিচিত হইতে হইবে।

আলোচনা। ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 1-1 হইতে 1-7 বিভাগগুলি (1-10 পৃষ্ঠা) দ্রষ্টব্য।)

(b) সরল দোলকের স্থিতিশক্তির ব্যঞ্জক (expression) ধরিয়া লইয়া উহার মোট শক্তি হিসাব করিতে হইবে।

আলোচনা। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 10 পৃষ্ঠায় 1-8 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

(c) উপযুক্ত উদাহরণ দিয়া অনুপ্রস্থ ও অনুদৈর্ঘ্য কম্পন বুঝাইতে হইবে। পরবশ (বা প্রণোদিত) কম্পন ও অনুনাদের আঙ্গিক (=qualitative=গুণগত =গুণীয়) ব্যাখ্যা দিলেই হইবে। প্রদর্শন (demonstration) বাঞ্ছনীয়।

আলোচনা। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 12-14 পৃষ্ঠা, 1-10, 1-11 ও 1-11.1 বিভাগ দ্রষ্টব্য।)

(d) উপযুক্ত উদাহরণ দিয়া কম্পন ও তরঙ্গে প্রভেদ বুঝাইতে হইবে। অনুপ্রস্থ ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের প্রকৃতি বর্ণনা করিয়া ও ছবির সাহায্যে বুঝাইতে হইবে। "Ripple Tank" থাকিলে উহার সাহায্যে অনুপ্রস্থ তরঙ্গের ধর্মগুলি দেখাইতে হইবে।

আলোচনা। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 16 পৃষ্ঠা, 2-1 বিভাগ; 17 পৃষ্ঠা, 2-2.1 ও 2-2.2 বিভাগ দ্রষ্টব্য। "Ripple Tank" আমাদের শিক্ষায়তনগুলির শতকরা একটিতেও আছে কিনা সন্দেহ। থাকিলে ইহা ব্যবহারে যে ফল পাওয়া যাইবে শত বক্তৃতা বা ছবি দেখানয়ও তাহা পাওয়া যাইবে না। ইহার সাহায্যে ছাত্রেরা তরঙ্গের মৌলিক ধর্মগুলি চাক্ষুষ দেখিতে পাইবে।)

(e) শব্দতরঙ্গ ও আলোকতরঙ্গের প্রধান প্রধান সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্যগুলি উপযুক্ত উদাহরণের সাহায্যে বুঝাইতে হইবে। **আলোকতরঙ্গের ঈথারবাদ শিখাইবার দরকার নাই।**

আলোচনা। সাদৃশ্য—উভয় প্রকার তরঙ্গেই (i) প্রতিফলন, (ii) প্রতিসরণ, (iii) ব্যতিচার (interference), (iv) বিবর্তন (diffraction) ও (v) বিক্ষেপণ (scattering) ধর্মগুলি দেখা যায়। বেগ খুব বিভিন্ন হইলেও তরঙ্গগুলি বিভিন্ন মাধ্যমে বিভিন্ন বেগে চলে।

বৈসাদৃশ্য—আলো শূন্যদেশ (vacuum) দিয়া চলিতে পারে। শব্দ পারে না; শব্দের জন্য বাস্তব মাধ্যম দরকার। শব্দ বাস্তব মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ; উহার ধ্রুবণ (polarization) হয় না। আলোর জন্য বাস্তব মাধ্যম দরকার হয় না। আলো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ এবং ইহার ধ্রুবণ হয়। ধ্রুবণ হওয়াতে বোঝা যায় ইহা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ। শব্দে মাধ্যম কণার বিচলন হয়। আলোতে বিদ্যুৎ ক্ষেত্র তীব্রতা E-র অনুপ্রস্থ কম্পন হয়; উহার আড়াআড়ি চৌম্বক ক্ষেত্র তীব্রতা H-এরও অনুরূপ কম্পন হয়। উভয়ে আলোর গতিমুখের আড়াআড়ি কাঁপে।

শ্রাব্য (audible, যাহা কানে শোনা যায়) শব্দের কম্পাংকের পাল্লা মোটামুটি 20 হইতে 20,000 Hz। দৃশ্য আলোর কম্পাংকের পাল্লা $4{\cdot}3\times10^{14}$ হইতে $7{\cdot}5\times10^{14}$ Hz। (1 Hz (=হার্ৎস্)=সেকেণ্ডে একটি কম্পন।)

['কম্পন ও তরঙ্গ', 28 পৃষ্ঠা 3-1 বিভাগ ও 73 এবং 74 পৃষ্ঠা দ্রষ্টব্য।]

সরল দোলন সম্পর্কিত

Q (S) 35. (a) সরল দোলন (SHM) কাহাকে বলে? বৃত্তপথে সুষম গতির সঙ্গে ইহার সম্পর্ক বল। সরল দোলনে কণার বেগের মান বাহির কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ'; 2 পৃষ্ঠায় 'সংজ্ঞা' ও 5 পৃষ্ঠার 1-4 বিভাগে 'বৈশিষ্ট্য' দেখ। 'বেগের মান' 4 পৃষ্ঠার (গ) অংশ।)

[**মন্তব্য।** বৃত্তপথে সুষম গতির অভিক্ষেপই সরল দোলন। এক্ষেত্রে প্রশ্নের প্রথম দুটি বাক্যের একই উত্তর। প্রশ্নকর্তা হয়ত চান ছাত্র সরল দোলনের বৈশিষ্ট্য বলিয়া উহার প্রকৃতি বুঝাইবে এবং বৃত্ত গতির সঙ্গে ইহার সম্পর্ক বলিবে। এরূপ প্রশ্ন সঙ্গত নয়। 'কাহাকে বলে' প্রশ্ন করিলে সাধারণতঃ সংজ্ঞাই বুঝায়।]

(b) একটি দোলক মিনিটে 20 দোলন নিষ্পন্ন করে। দোলনের বিস্তার 3 cm। (i) গতিপথের কেন্দ্রে, (ii) বিস্তারের অর্ধপথে দোলক পিণ্ডের বেগ কত?

উঃ। দোলক পিণ্ডের বেগ $v=\omega\sqrt{a^2-x^2}$ ('কম্পন ও তরঙ্গ', 4 পৃষ্ঠা, 1-3.6 সমীকরণ)। এখানে ω = কৌণিক বেগ = $2\pi n$ বা $2\pi/T = 2\times 3{\cdot}14/3 = 2{\cdot}09$ rad/s [n = কম্পন সংখ্যা; T = দোলনকাল = 60s/20 = 3s] a = বিস্তার = 3cm। প্রথম ক্ষেত্রে $x=0$; দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $x=a/2=1{\cdot}5$ cm।

(i) $v=\omega\sqrt{a^2-0}=\omega a=2{\cdot}09\times 3=6{\cdot}27$ cm/s.

(ii) $v=\omega\sqrt{a^2-(a/2)^2}=\omega a\sqrt{3/4}=2{\cdot}09\times 3\times 0{\cdot}866$ cm/s.

(c) (b) প্রশ্নে ত্বরণ কোথায় সব চেয়ে বেশী? পদার্থের কোন্ ধর্মের জন্য দোলক পিণ্ড উহার গতিপথের মধ্য বিন্দু অতিক্রম করিয়া চলিয়া যায়?

উঃ। সকল দোলনেই দোলনের প্রান্ত বিন্দুতে ত্বরণ সবচেয়ে বেশী ('কম্পন ও তরঙ্গ', 5 পৃষ্ঠা, (গ) অংশ)।

গতিপথের মধ্যবিন্দুতে কণার বেগ সবচেয়ে বেশী। গতি থাকায় গতি জাড্যের জন্য (inertia of motion) কণা ঐ বিন্দু অতিক্রম করিয়া চলিয়া যায়।

(d) সরল দোলনের বিস্তার ও দশার সংজ্ঞা দাও। স্থিতিশক্তির মান ধরিয়া লইয়া প্রমাণ কর যে সরল দোলনে গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল সমান।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 1 ও 7 পৃষ্ঠা দেখ। শক্তির জন্য 10 পৃষ্ঠায় 1-8 বিভাগ দেখ। 1-8.3 সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।)

(e) সরল দোলকের স্বল্প বিস্তারে দোলন সরল দোলীয়, ইহা প্রমাণ কর।

উঃ। সরল দোলকের উপর প্রত্যানয়ক বল mg $\sin\theta$, ইহা দেখাও ('কম্পন ও তরঙ্গ', 8 পৃষ্ঠা)। বিস্তার খুব কম হইলে $\sin\theta=\theta=x/l$ ধরা যায়। x = সরণ। এক্ষেত্রে প্রত্যানয়ক বল সরণের সমানুপাতিক। 'কম্পন ও তরঙ্গের' 2 পৃষ্ঠায় দেওয়া সরল দোলনের দ্বিতীয় সংজ্ঞা অনুসারে এরূপ বলের ক্রিয়ায় গতি সরল দোলীয়।

(f) সরল দোলকের গতি ও স্প্রিং-এ ঝুলান ভরের গতির প্রকৃতিতে প্রভেদ কি ?

উঃ। প্রথমটি অনুপ্রস্থ ও দ্বিতীয়টি অণুদৈর্ঘ্য কম্পন।

(g) (i) সরল দোলন লেখচিত্রে কি ভাবে প্রকাশ করা যায় ?

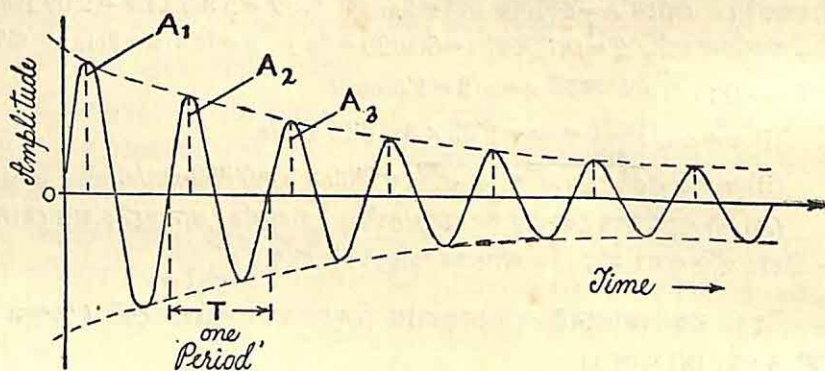
(ii) একই রেখায় অসমবিস্তারের দুইটি সরল দোলনের সমদশায় ও বিপরীত দশায় গতির লব্ধি বাহির কর।

উঃ। (i) ('কম্পন ও তরঙ্গ', 9 পৃষ্ঠা, 1-7 বিভাগ দেখ। লেখচিত্র সাইনবক্র।)

(ii) ('কম্পন ও তরঙ্গ', 11 পৃষ্ঠা, 1-3 বিভাগ দেখ।)

Q (S) 36. **(a)** পরবশ (বা প্রণোদিত) কম্পন কাহাকে বলে ? ইহাতে কি অবস্থায় অনুনাদ হয় আলোচনা কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 13-14 পৃষ্ঠা, 1-11 ও 1-11.1 বিভাগ দেখ।)

(b) সরল দোলকের গতিতে বায়ুর বাধা যথেষ্ট থাকিলে উহার গতির প্রকৃতি ছবি আঁকিয়া বুঝাও।

চিত্র I. 10 (অবমন্দিত দোলন)

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 14 পৃষ্ঠা 1-12 বিভাগ দেখ। উপরে দোলকের অবমন্দিত দোলনের ছবি দেওয়া হইল। প্রতি দোলনে বিস্তার একটু করিয়া কমে। পরপর দুই দোলনের বিস্তারের অনুপাত সমান থাকে।)

Q (S) 37. **(a)** প্রগামী তরঙ্গের (Progressive waves-এর) বৈশিষ্ট্যগুলি বল। তরঙ্গের কম্পাংক, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও দশার সংজ্ঞা দাও। তরঙ্গবেগ $v = n\lambda$ প্রমাণ কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 18-19 পৃষ্ঠা, 2-2.5 ও 2-3 বিভাগ দেখ। 44 পৃষ্ঠায় প্রগামী ও স্থির তরঙ্গের তুলনায় সারণিতে প্রগামী তরঙ্গের যে বৈশিষ্ট্যগুলি বলা হইয়াছে তাহাই প্রশ্নের প্রথম অংশের উত্তর বলিয়া ধরিতে পার।)

(b) সর্পিল স্প্রিং-এ ঝুলান একটি দণ্ড জলে আংশিক ডুবান। মিনিটে উহার

120 দোলন হয়। ইহাতে জলপৃষ্ঠে যে লহরী (ripple) ওঠে তাহার পরপর দশটি শীর্ষে দূরত্ব 20 cm। লহরীর তরঙ্গ বেগ কত?

উঃ। তরঙ্গ বেগ $v=n\lambda$ বা λT (λ= তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, n= কম্পাংক, T= পর্যায়-কাল)। কম্পাংক n= সেকেণ্ডে দোলন সংখ্যা $=120/60 \text{ s}=2/\text{s}$। λ= তরঙ্গ দৈর্ঘ্য পরপর শীর্ষে দূরত্ব $=20\text{cm}/10=2 \text{ cm}$। অতএব তরঙ্গ বেগ $=n\lambda=2(\text{s}^{-1})\times 2 \text{ cm} =4 \text{ cm/s}$।

(c) প্রগামী তরঙ্গ দুইটি সমসত্ত্ব মাধ্যমের সমতল বিভেদ তলে পড়িলে কি ঘটনা ঘটে?

উঃ। উহার এক অংশ প্রতিফলিত হইয়া প্রথম মাধ্যমেই ফিরিয়া আসে। বাকী অংশ প্রতিসৃত হইয়া দ্বিতীয় মাধ্যমে যায়। উভয় অংশেই উহারা প্রগামী তরঙ্গরূপে থাকে। দুই মাধ্যমে বিস্তারের অনুপাত আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 24 পৃষ্ঠা 2-4 বিভাগ দেখিও। মূল বইয়ের দ্বিতীয় খণ্ডের 'আলোক-বিজ্ঞান' অংশের 8 পৃষ্ঠার 2-1 বিভাগও দেখিতে পার।)

Q (S) 38. **(a)** স্থির বা স্থাণু তরঙ্গ কাহাকে বলে? উহা কি ভাবে সৃষ্ট হয়? স্থির তরঙ্গ ও প্রগামী তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য তুলনা কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 41 পৃষ্ঠা, 5-3 ও 5-3.1 বিভাগ, এবং 44 পৃষ্ঠার 5-4 বিভাগ দেখ।)

(b) স্থির তরঙ্গ সৃষ্টির একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 42 পৃষ্ঠা, 5-3.2 বিভাগ দেখ।)

(c) উপরের (b) প্রশ্নে বর্ণিত মূল তরঙ্গের প্রকৃতি কি? তোমার জানা অন্য কোন প্রকার তরঙ্গের সঙ্গে প্রকৃতিতে ইহার প্রভেদ কি?

উঃ। মেল্‌ডির পরীক্ষায় সুতা বা তারের কম্পন অনুপ্রস্থ। শব্দ তরঙ্গ প্রকৃতিতে অনুদৈর্ঘ্য।

Q (S) 39. **(a)** টানা দেওয়া তারের কম্পনের সূত্রগুলি বল। ছবি আঁকিয়া উহার প্রথম তিন ধরনের কম্পনের প্রকৃতি দেখাও। ছবিতে নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান পরিষ্কার করিয়া দেখাইও।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 48 পৃষ্ঠা, 6-3 বিভাগ দেখ। 47 পৃষ্ঠার 6.2 নং ছবি আঁকিও।)

(b) উপরের প্রশ্নের তিন ধরনের কম্পনের কম্পাংক তুলনা কর।

উঃ। 1 : 2 : 3।

(c) 60 cm লম্বা একগাছা তার উহার মূলসুর দিতেছে। 295 Hz কম্পাংকের টিউনিং ফর্কের সঙ্গে উহার 5টি স্বরকম্প হয়। তারের টান একটু বাড়াইলে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়ে। তারে শব্দের বেগ বাহির কর।

উঃ। টান একটু বাড়াইলে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়ে। ইহাতে বোঝা যায় তারের কম্পাংক ফর্কের কম্পাংকের চেয়ে বেশী। অতএব তারের কম্পাংক 295 + 5 = 300 Hz।

মূলস্বর দিতে থাকিলে তারের দৈর্ঘ্য $l = \lambda/2$ অর্থাৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। অতএব তারে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $60 \times 2 = 120$ cm।

$\therefore$ তারে তরঙ্গ বেগ $c = 300 \times 120 = 36{,}000$ cm/s।

TGL 25. ডপলার বিক্রিয়া। শব্দের ক্ষেত্রে ইহার আলোচনা করিতে হইবে। আলোতেও ইহা হয়, এবং আলোর ক্ষেত্রে ডপলার ক্রিয়ার গুরুত্ব (লালের দিকে সরণ ; Red shift) উল্লেখ করিতে হইবে।

আলোচনা ('কম্পন ও তরঙ্গ', 25 পৃষ্ঠায় 2-5 বিভাগ দ্রষ্টব্য।) বিভিন্ন জ্যোতিষ্ক হইতে যে আলো আসে তাহার প্রত্যেকটি বর্ণালি রেখা নির্দিষ্ট কম্পাংকের আলোক তরঙ্গ বুঝায়। জ্যোতিষ্ক যদি দূরে সরিয়া যাইতে থাকে তবে ডপলার ক্রিয়ায় উহার কম্পাংক কমিবে ; অতএব রেখার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বাড়িবে। দীর্ঘতর তরঙ্গ বর্ণালির লাল প্রান্তের দিকে থাকে। অতএব কম্পাংক কমিলে বর্ণালি রেখা লালের দিকে সরিবে। কতটা সরিল তাহা মাপিয়া জ্যোতিষ্কের অপসরণের বেগ পাওয়া যায়।

দূরের নীহারিকাগুলির বর্ণালি রেখা এইভাবে মাপিয়া একটি আশ্চর্য ফল পাওয়া গিয়াছে। দেখা গিয়াছে নীহারিকা যত বেশী দূরে উহার রেখার লালের দিকে সরণ তত বেশী। ইহার একটি মাত্র অর্থ হয়—নীহারিকাগুলি ক্রমশই দূরে সরিয়া যাইতেছে। এই তথ্যের ভিত্তিতে 'প্রসারণশীল মহাবিশ্ব' (Expanding Universe) মতবাদটি প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে।

Q (S) 40. (a) ডপলার বিক্রিয়া কাহাকে বলে ? স্বনক সচল ও শ্রোতা স্থির এই অবস্থায় ডপলার বিক্রিয়া কি রকম হইবে আলোচনা কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 25 পৃষ্ঠা 2-5 বিভাগ দেখ।)

(b) আলোক তরঙ্গে ডপলার বিক্রিয়া ঘটে কি ? একটি উদাহরণ দিয়া উত্তরের প্রমাণ দাও। (কোন ব্যাখ্যার দরকার নাই।)

উঃ। (TGL 25.-এর আলোচনা দেখ। প্রসারণশীল বিশ্বের উদাহরণ দাও।)

Q (S) 41. কাছাকাছি কম্পাংকের দুই তরঙ্গের উপরিপাতে কি ঘটে ? একটি টিউনিং ফর্কের কম্পাংক জানা থাকিলে এই ঘটনার সাহায্যে অন্যটির কম্পাংক কিভাবে জানা যায় ?

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 38 পৃষ্ঠা, 5-2 বিভাগ ও 5-2.3 বিভাগ দেখ।)

Q (S) 41. (a) একটি সোজা নলের এক মুখে কম্পমান একটি ফর্ক ধরা হইল। (i) অন্য মুখ বন্ধ, (ii) অন্য মুখ খোলা, থাকিলে নলে কি ভাবে স্থির তরঙ্গ সৃষ্ট হইবে বুঝাও।

উভয় নলেই মূলস্বর বাহির হইতে হইলে দুই নলের দৈর্ঘ্যের অনুপাত কি হইবে?

উঃ। (স্থির তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য 'কম্পন ও তরঙ্গ', 54 পৃষ্ঠার 7-2 বিভাগ ও 58 পৃষ্ঠার 7-3.1 বিভাগ দেখ।)

মূলস্বরে বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য $l_c = \frac{1}{4}\lambda$ (7-2.3 সমীকরণ) ও খোলা নলের দৈর্ঘ্য $l_o = \frac{1}{2}\lambda$ (7-3 বিভাগ)। অতএব λ একই হইলে বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য : খোলা নলের দৈর্ঘ্য = 2 : 1 হইবে।

(b) উপরের (*a*) প্রশ্নে দুই ক্ষেত্রে কম্পনের ধরন কি রকম হইবে বল। খোলা নলের স্বর বদ্ধ নলের স্বরের চেয়ে শুনিতে বেশী ভাল হয় কেন বল।

উঃ। (কম্পনের ধরনের জন্য 'কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 55 পৃষ্ঠার 7.1 নং ছবি ও 57 পৃষ্ঠার 7.3 নং ছবি দেখ; সঙ্গের বর্ণনাও পড়িবে।)

বদ্ধ নলে কেবল বিজোড় হার্মনিক থাকিতে পারে; কিন্তু খোলা নলে জোড় ও বিজোড় সকল হার্মনিকই থাকে। এই জন্য খোলা নলের স্বর মিষ্ট শুনায়।

(c) নলে সৃষ্ট তরঙ্গের ধ্রুবণ (polarization) হইবে কি না কারণ দেখাইয়া বল।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 24 পৃষ্ঠা, 2-4 বিভাগের (6) অংশ ও 76 পৃষ্ঠার 10-3 বিভাগ দেখ। নলের তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য শব্দ তরঙ্গ।)

Q (S) 42. (a) (i) বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের বিস্তারকৌশল বর্ণনা কর। (ii) শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটনের সমীকরণ মানিয়া লইয়া লাপ্লাসের শুদ্ধি বুঝাও।

উঃ। (i) ('কম্পন ও তরঙ্গ', 30 পৃষ্ঠা, 3-3 বিভাগ দেখ।)

(ii) ('কম্পন ও তরঙ্গ', 32 পৃষ্ঠা, 3-4.1 বিভাগ দেখ।)

(b) আর্দ্র বায়ুতে শব্দ তরঙ্গ বেশী বেগে চলে কেন বুঝাও।

উঃ। বায়ুতে শব্দের বেগ $c = \sqrt{\gamma P/\rho}$। একই চাপে (P-তে) ঘনত্ব ρ কম হইলে বেগ বাড়িবে। আর্দ্র বায়ুর ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের চেয়ে কম। এই কারণে একই চাপ ও উষ্ণতায় আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ বেশী হইবে।

(c) 29°C উষ্ণতার একদিনে 1750m দূরের কামানের শব্দ আলোর দ্যুতির 5 সেকেণ্ড পরে শোনা গেল। শব্দের বেগ কত?

ঐ সময়ে বায়ুচাপ 76 cmপারা ও $\gamma = 1{\cdot}41$ হইয়া থাকিলে বায়ুর ঘনত্ব কত?

উঃ। শব্দের বেগ 1750 m/5 s = 350 m/s।

$c=\sqrt{\gamma P/\rho}$ সমীকরণ হইতে পাই $\rho=\gamma P/c^2$। রাশিগুলিকে সিজিএস এককে নিলে পাই

$$P=76 \text{ cm Hg}=76\times 13{\cdot}6\times 980=1{\cdot}013=10^6 \text{ dyn/cm}^2;$$

$c=35000$ cm/s। γ সংখ্যা মাত্র। অতএব

$$\rho=\frac{1{\cdot}41\times 1{\cdot}013\times 10^6}{(35000)^2}=\frac{1{\cdot}41\times 1{\cdot}013}{1225}=1{\cdot}166\times 10^{-3} \text{ g/cm}^3।$$

ইহা 29°C-তে ও 76 cm পারার চাপে বায়ুর ঘনত্ব।

Q(S) 43. **(a)** সুস্বরের কি কি বৈশিষ্ট্য আলোচনা কর। তরঙ্গের কোন্ ধর্মের সঙ্গে কোন্‌টি জড়িত বল। সুস্বর ও অপস্বরে (Noise) প্রভেদ কি?

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 62 পৃষ্ঠা, 8-1, 8-2 বিভাগ ও 64 পৃষ্ঠার 8-4 বিভাগ দেখ।)

(b) শব্দতরঙ্গের পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের একটি উদাহরণ দাও।

উঃ। ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যাইতে তরঙ্গের পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হইতে পারে। যে মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ কম, তাহা ঘনতর মাধ্যম। যাহাতে বেগ বেশী তাহা লঘুতর মাধ্যম। বায়ুতে শব্দের বেগ প্রায় 340 m/s। জলে উহা প্রায় 1450 m/s। কাজেই শব্দের ক্ষেত্রে বায়ু ঘনতর মাধ্যম ও জল লঘুতর মাধ্যম। পূর্ণ প্রতিফলনের ক্রান্তিক কোণ (critical angle) এক্ষেত্রে $\sin^{-1}(340/1450)$ = প্রায় 13°। বায়ু হইতে জলে ইহার চেয়ে বড় কোণে আপতন হইলে, যত জোরেই শব্দ করা হইয়া থাকুক না কেন, সে শব্দ জলে প্রবেশ করিবে না।

নল দিয়া কথা বহুদূর যায়। ইহার কারণও বহুলাংশে পূর্ণ প্রতিফলন। বায়ু হইতে ইস্পাতে প্রতিসরণের ক্রান্তিক কোণ প্রায় 4°। সুতরাং যে শব্দতরঙ্গ নলের দেওয়ালে 4°-র বেশী কোণে পড়ে তাহা পূর্ণ প্রতিফলিত হয়। বার বার পূর্ণ প্রতিফলনে শব্দ বহুদূর যায়, কারণ উহার শক্তি দেওয়ালে কার্যত শোষিত হয় না।

TGL 26. আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি। **(a)** আলোর বেগ মাপনের কোন উপায় শিখাইতে হইবে না। কিন্তু উহার গুরুত্ব বুঝাইতে হইবে।

(b) আলোর বিদ্যুৎচুম্বকীয় প্রকৃতির কথা বলিতে হইবে। সম্পূর্ণ বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় বর্ণালির একটা আঙ্গিক (qualitative) আলোচনা করিতে হইবে।

আলোচনা। **(a)** সহরের কোথাও কোথাও বা রেলের কোন কোন জায়গায় গাড়ির বেগের সীমা বাঁধা থাকে—গাড়ি সেই সীমার বেগের চেয়ে বেশী বেগে চলিতে পারিবে না।

প্রকৃতিও তাঁহার সৃষ্টিতে বেগের একটা সীমা বাঁধিয়া দিয়াছেন। শূন্যদেশে আলোর বেগ সেই সীমা। মহাবিশ্বে কোন বস্তুকণা এরচেয়ে বেশী বেগে চলিতে পারিবে না—এমন কি এই বেগে পৌঁছিতেও পারিবে না। এই তথ্যের উপর আইনস্টাইন তাঁহার অপেক্ষবাদ (Theory of relativity) প্রতিষ্ঠা করিয়াছেন।

মনে করিতে পার $Ve=\frac{1}{2}mv^2$ সূত্র অনুসারে যথেষ্ট ভোল্টেজ (V) প্রয়োগ করিলে বেগ v আলোর বেগের মান $c=3\times10^8$ m/s-এর চেয়ে বেশী ত হইতেই পারে। কিন্তু বেগ বাড়িলে ভর m-ও $m=m_0(1-v^2/c^2)^{-\frac{1}{2}}$ সূত্র অনুসারে বাড়ে। m_0=স্থিরকণার মান। $v=c$ হইতে পারে না। v যত c-র কাছাকাছি যায় m তত সীমাহীন ভাবে বাড়িতে থাকে। এই সূত্র অপেক্ষবাদ হইতে পাওয়া এবং ইহা সমর্থিত হইয়াছে।

(b) আলোর বিদ্যুৎচুম্বকীয় প্রকৃতির কথা 'কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 74 পৃষ্ঠায় বলা হইয়াছে। বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গের কম্পন সংখ্যার পাল্লা সুদূর বিস্তৃত; জানা পাল্লা প্রায় 10^2 Hz হইতে 10^{23} Hz পর্যন্ত। এই সুদূর বিস্তৃত পাল্লার বিকিরণের বর্ণালিকে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বর্ণালি (Electromagnetic spectrum) বলে। ইহার বিভিন্ন অংশের নাম বিভিন্ন। রেডিও তরঙ্গ, অবলোহিত, দৃশ্য আলো, অতিবেগনি, এক্স রশ্মি, গ্যামা রশ্মি সকলই এই বর্ণালির অন্তর্গত। ইহার বিভিন্ন অংশের কোন স্পষ্ট সীমারেখা নাই। তরঙ্গের উৎপত্তির উপায় বিচারে সাধারণত নামকরণ হয়।

বেতারে সংবাদ আদান প্রদানের জন্য ব্যবহৃত তরঙ্গের কম্পনসংখ্যা সাধারণত 10^6 Hz ক্রমের; টি. ভি. তে (টেলিভিশনে) 10^8 Hz ক্রমের। দৃশ্য আলোর কম্পাংকের পাল্লা খুবই ছোট—প্রায় 4×10^{14} হইতে 8×10^{14} Hz-এর মধ্যে। অবলোহিতের কম্পাংক ইহার কম, অতিবেগনির বেশী। এক্স্ রশ্মির পাল্লা 10^{18} Hz-এর দুধারে অনেকখানি বিস্তৃত; গ্যামা রশ্মি প্রায় $10^{19}-10^{21}$ Hz। ইহার চেয়ে বেশী কম্পাংকের তরঙ্গ কজ্‌মিক রশ্মিতে (Cosmic rays-এ) পাওয়া গিয়াছে।

সকল কম্পাংকের বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গগুলি শূন্যদেশে একই বেগে (আলোর বেগে) চলে।

Q(S) 44. (a) আলো তরঙ্গধর্মী এবং প্রকৃতিতে ইহা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ—ইহার সমর্থক প্রমাণগুলি সংক্ষেপে বল।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 73 পৃষ্ঠা, 10-1.1 বিভাগ ও 77 পৃষ্ঠা দেখ।)

(b) শূন্যদেশে আলোর বেগ $2{\cdot}998\times10^8$ m/s এবং হলদে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5893 Å (1Å $=10^{-10}$ m)। জলের প্রতিসরাংক 1·33 হইলে জলে হলদে আলোর বেগ কত? জলে কম্পাংক কত?

উঃ। জলে আলোর বেগ $2{\cdot}998\times10^8/1{\cdot}33$ m/s। কম্পাংক সকল মাধ্যমে একই।

নির্ণেয় কম্পাংক $=2{\cdot}998\times10^8$ m/s $\div$ 5893 Å

$=2{\cdot}998\times10^8/(5{\cdot}893\times10^{-7})=$ প্রায় $5{\cdot}1\times10^{14}$ Hz।

(c) দশাসম্বদ্ধ আলোর উৎস (Coherent source of light) বলিতে কি বুঝায়?

উঃ। দুইটি দীপক হইতে সর্বদা একই দশায় আলোক তরঙ্গ নির্গত হইতে

থাকিলে উহাদের দশাসম্বদ্ধ বলা হয়। উভয়ের দশা একই না হইয়া দুইএর মধ্যে সর্বদা একই দশাবৈষম্য থাকিলেও উহাদের দশাসম্বদ্ধ বলা হয়।

(d) আলোর ব্যতিচার কাহাকে বলে? কি অবস্থায় ইহা দেখা যায়? ব্যতিচার দেখাইবার একটি সহজ ব্যবস্থা চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর। কোন স্থানে আলোকরেখা (fringe) উজ্জ্বল হইবে কি অন্ধকার হইবে তাহার শর্ত বল।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 79 পৃষ্ঠা, 10-5 বিভাগ ও 44 পৃষ্ঠা, 5-5 বিভাগ দেখ। 5-5 বিভাগে 'শব্দ' কথাটির বদলে 'আলো' কথাটি ব্যবহার করিও। শর্ত ঐ খানেই বলা আছে; দুই উৎস দশাসম্বদ্ধ হইতে হইবে।)

(e) জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানে আলো সরলরেখায় চলে বলা হয়। কিন্তু ইহা সম্পূর্ণ সত্য নয় কেন ব্যাখ্যা কর।

উঃ। ('কম্পন ও তরঙ্গ', 77 পৃষ্ঠা 10-4 বিভাগ ও 78 পৃষ্ঠা 10-4.1 বিভাগ দেখ।)

(f) আলোক তরঙ্গ ও রেডিও তরঙ্গের মৌলিক সাদৃশ্য ও প্রভেদগুলি বল।

উঃ। **সাদৃশ্য।** উভয়েই বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। শূন্যদেশে (কার্যত বায়ুতেও) উহারা একই বেগে চলে। অনুপ্রস্থ তরঙ্গের সকল ধর্মই ইহাদের আছে।

প্রভেদ। ইহাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যে প্রভেদ অত্যন্ত বেশী। আলোক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা মোটামুটি $3{\cdot}6 \times 10^{-7}$m হইতে $7{\cdot}5 \times 10^{-7}$m পর্যন্ত। সংবাদ আদান প্রদানের জন্য ব্যবহৃত রেডিও তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা মোটামুটি কয়েক কিলোমিটার হইতে কয়েক মিলিমিটার পর্যন্ত বিস্তৃত, অর্থাৎ আলোকতরঙ্গের প্রায় 10^{10} হইতে 10^{4} গুণ।

উৎপত্তির ধরনেও দুইএ প্রভেদ আছে। বেতার তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এরিয়েলে ইলেকট্রনের কম্পনে। দৃশ্য আলোর বর্ণালি রেখার উৎপত্তি হয় পরমাণু বা অণুতে ইলেকট্রন এক শক্তিস্তর হইতে অন্য শক্তিস্তরে যাওয়া কালে। দ্রুতগামী ইলেকট্রনের বেগ হঠাৎ কমাইয়া দিলে উপযুক্ত অবস্থায় দৃশ্য আলোর সৃষ্টি হইতে পারে।

1978-এর উচ্চ মাধ্যমিক পরীক্ষার প্রশ্ন ও উত্তর

প্রথম পত্র

গ্রুপ—A

1. (a) গতিসংক্রান্ত নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রটি লেখ। ভরের একক 1 kg এবং ত্বরণের একক 1 m/s² হইলে এই সূত্র হইতে বলের একক কিভাবে পাওয়া যাইবে, বুঝাও।

বলের এই এককের নাম কি?

(b) 1 kg ভরের ওজন বলের MKS এককে প্রকাশ কর।

(c) ট্রেন সোজা পথে চলিতেছে। নীচের ক্ষেত্রগুলিতে উহার বেগ-কাল লেখচিত্র (velocity-time graph) কি রকম হইবে বল ঃ

(i) ট্রেন সুষম ত্বরণে চলিতেছে ;

(ii) উহার ত্বরণ বৃদ্ধি পাইতেছে। 6 + 2 + 2

উঃ। **(a)** ও **(b)** (বইএর 'বলবিজ্ঞান' অংশের 15 পৃষ্ঠার 1-7 বিভাগ, 16 পৃষ্ঠার 1-7.2 বিভাগ ও 17 পৃষ্ঠার নিচের দিক হইতে দ্বিতীয় প্যারা দেখ।)

(c) (i) বেগ সুষম হারে বাড়িতেছে বলিয়া বেগ-কাল গ্রাফ সরলরেখা হইবে এবং কাল বৃদ্ধির সঙ্গে ক্রমশ উপরে উঠিবে।

(ii) কালের সঙ্গে বেগের বৃদ্ধির হার এক্ষেত্রে ক্রমশ বাড়িয়া চলিয়াছে। অতএব সমান সময়ে বেগ বৃদ্ধি আগের চেয়ে বেশী হইবে। ইহাতে বেগ-কাল গ্রাফ বক্ররেখা হইবে এবং সময়ের সঙ্গে ক্রমশ উপরের দিকে বাঁকিয়া বাড়িতে থাকিবে।

2. **(a)** গতিশক্তির সংজ্ঞা দাও। m ভর v বেগে চলিতে থাকিলে উহার গতিশক্তি কত হইবে হিসাব কর।

(b) 100 g ভরের একটি বস্তু 100 m উঁচু মিনারের উপর হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। (i) ছাড়ার এক সেকেণ্ড পরে ও (ii) মিনারের গোড়ায় উহার গতিশক্তি কত?

(c) একজন লোক এক বালতি জল হাতে নিয়া লিফ্‌টে করিয়া উঠিতেছে।

(i) বালতির জলের উপর লোকটি কোন কার্য করিতেছে কি না, এবং

(ii) বালতির জলের শক্তি স্থির থাকিবে কি না, বুঝাইয়া বল। 4 + 4 + 2

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান' অংশের 58 পৃষ্ঠায় 4-4.1 বিভাগ দেখ ; 4-4.1 সমীকরণ স্থাপন কর।)

(b) অভিকর্ষীয় ত্বরণ $g = 9{\cdot}8\ m/s^2$ ধরিয়া নেওয়া গেল।

(i) ছাড়ার 1 s পরে বস্তুটির বেগ হইবে 9·8 m/s। এমকেএস এককে $m = 100\ g = 0{\cdot}1\ kg$। এই এককে গতিশক্তি $= \frac{1}{2} \times 0{\cdot}1\ kg \times (9{\cdot}8\ m/s)^2$
$= 4{\cdot}8\ kg\ m^2/s^2$ বা 4·8 জুল।

(ii) পতনে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল স্থির থাকে। মিনারের উপরে গতিশক্তি নাই। স্থিতিশক্তি $= mgh = 0{\cdot}1\ kg \times 9{\cdot}8\ m/s^2 \times 100\ m = 98\ kg\ m^2/s^2$ বা 98 J। মিনারের গোড়ায় পৌছিতে এই স্থিতিশক্তি সম্পূর্ণরূপে গতিশক্তিতে পরিণত হইয়াছে। অতএব গতিশক্তি = 98 জুল।

(c) (i) বল নিজ ক্রিয়াবিন্দুকে নিজের ক্রিয়ামুখে সরাইলে উহা কার্য করে। এক্ষেত্রে লোকটি বালতি ধরিয়াই আছে। তাহার প্রযুক্ত বল নিজের ক্রিয়াবিন্দু নিজের ক্রিয়ামুখে সরাইতেছে না। অতএব কার্য হইতেছে না।

(ii) লিফ্‌ট সাপেক্ষে (লিফ্‌টে অবস্থিত কোন নির্দেশ ফ্রেমে) জলের শক্তি

স্থির। কিন্তু লিফ্‌টের বাহিরে দাঁড়ান কোন দর্শক দেখিবেন লিফ্‌ট উঠিয়া চলায় জলে স্থিতিশক্তি বাড়িতেছে।

3. (a) অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল বলিতে কি বুঝায় ব্যাখ্যা কর।

(b) অভিকেন্দ্র বলের মান বাহির কর।

(c) একজন সাইকেলের আরোহী 18 km/hr বেগে 20m ব্যাসের বাঁক নিতেছেন। উল্লম্ব (vertical) হইতে তাহাকে কত কোণে হেলিতে হইয়াছে। (সাইকেল ও আরোহী একই তলে আছে বলিয়া ধর।) 2+4+4

উঃ। **(a)** ('বলবিজ্ঞান' অংশের 42 ও 44 পৃষ্ঠা দুটি হইতে ব্যাখ্যা দাও।)

(b) (ঐ অংশের 43 পৃষ্ঠার 2-4.1 সমীকরণ স্থাপন কর।)

(c) (ঐ অংশের 46 পৃষ্ঠার (4) উদাহরণ দেখ। 2-6.1 সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় $\tan\theta = 25/196$।

মন্তব্য ঃ কোন অঙ্ক করিতে উহার সকল রাশিগুলিকে একই পদ্ধতির এককে আনিয়া নিও। CGS বা MKS, যে-কোন পদ্ধতি ব্যবহার করিতে পার। উত্তর সেই পদ্ধতির এককে প্রকাশিত হইবে।

মান বেশী হইলে MKS পদ্ধতি ব্যবহারে সুবিধা বেশী।

$$18 \text{ km/hr বেগ} = 18{,}000\text{m}/(60\times 60)\text{s} = 5\text{m/s}।$$

3. (বিকল্প)। **(a)** পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা ও স্থিতিস্থাপক সীমা কাহাদের বলে? বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাংকের সংজ্ঞা দাও ও উহাদের ব্যাখ্যা কর।

(b) 5 kg ভর 1m লম্বা তারে ঝুলিয়া আছে। তারের ব্যাস 1 mm ও ইয়ং গুণাংক $2{\cdot}0\times10^{12}$ dyn/cm^2। ভার সরাইয়া দিলে তারের দৈর্ঘ্য কত হইবে?

6+4

উঃ। **(a)** ('পদার্থের ধর্ম' অংশের 14 ও 16 পৃষ্ঠা দেখ। ইয়ং গুণাংক, আয়তন-বিকার গুণাংক ও কৃন্তন গুণাংক 19 ও 20 পৃষ্ঠায় দেখ।)

(b) 5 kg ভার কমানকে 5 kg চাপ বাড়াইবার সমান ধরা যায়। (ইয়ং গুণাংক সিজিএস এককে থাকায় এখানে সিজিএস পদ্ধতি ব্যবহার করা সুবিধার হইবে।) এখানে বল $(F) = 5$ kg-wt $= 5000$ g-wt $= 5000\times 980$ dyn ; প্রস্থচ্ছেদ (S) $= \pi\,(1\text{mm})^2 = 3{\cdot}14\times 0{\cdot}01 \text{ cm}^2$; আদি দৈর্ঘ্য $(L) = 1\text{m} = 100$ cm। দৈর্ঘ্যহ্রাস l চাই।

ইয়ং গুণাংকের সংজ্ঞা অনুসারে,

$$\text{ইয়ং গুণাংক } E = \frac{\text{বল }(F)/\text{প্রস্থচ্ছেদ }(S)}{\text{দৈর্ঘ্যহ্রাস }(l)/\text{আদি দৈর্ঘ্য }(L)} \quad \text{বা} \quad l = \frac{F}{S}\times\frac{L}{E}।$$

প্রদত্ত মানগুলি বসাইলে পাই

$$l=\frac{5000\times 980 \text{ dyn}}{3\cdot14\times 0\cdot01 \text{ cm}^2}\times\frac{100 \text{ cm}}{2\times10^{12} \text{ dyn/cm}^2}=0\cdot0078 \text{ cm}$$

অতএব, ভার না থাকিলে তারের দৈর্ঘ্য $=(100-0\cdot0078)$ cm
$=99\cdot9922$ cm।

4. (a) সেকেণ্ড দোলক (Seconds pendulum) কাহাকে বলে ? $g=980$ cm/s^2 হইলে সেখানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত সেন্টিমিটার হইবে ?

(b) নীচের ক্ষেত্রগুলিতে এরূপ দোলকের দোলনকাল বদলাইবে কিনা বুঝাইয়া বল :—

(i) নিরেট দোলকপিণ্ডের বদলে ফাঁপা দোলকপিণ্ড নিলে ;

(ii) ফাঁপা দোলকপিণ্ড জলে আংশিক ভরিলে ;

(iii) দোলক পাহাড়ের উপর নিলে।

(c) একটি নকল উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ হইতে 400 km দূরে থাকিয়া পৃথিবীর চারদিকে বৃত্তপথে ঘোরে। পৃথিবীর ব্যাস 6000 km ও ভূপৃষ্ঠে g-র মান 980 cm/s^2 হইলে উপগ্রহের বেগ কত ? 3+3+4

উঃ। (a) যে দোলকের দোলনকাল দুই সেকেণ্ড তাহাকে সেকেণ্ড দোলক বলে। দোলনের একপ্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে যাইতে ইহা এক সেকেণ্ড সময় নেয় বলিয়া ইহার এরূপ নামকরণ হইয়াছে।

সরল দোলকের দোলনকাল $T=2\pi\sqrt{l/g}$। $l=$ দোলকের দৈর্ঘ্য এবং $g=$ অভিকর্ষীয় ত্বরণ। সমীকরণ হইতে পাই $l=gT^2/4\pi^2$। $\pi^2=3\cdot14^2=9\cdot86$। $T=2$s হওয়ায় নির্ণেয় $l=980/9\cdot86=99\cdot4$ cm (প্রায়)।

(**মন্তব্য**। π-এর মান কত ধরা হইল, তাহার উপর উত্তরের প্রথম দশমিক সংখ্যাটির মান নির্ভর করে।)

(b) দোলকের $T=2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণে $l=$ দোলকের দৈর্ঘ্য = সুতার লম্বনবিন্দু হইতে দোলকপিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব এবং $g=$ স্থানীয় অভিকর্ষীয় ত্বরণ। দোলনকাল দোলকপিণ্ডের ভরের উপর নির্ভর করে না।

(i) নিরেট ও ফাঁপা দোলকপিণ্ডের ভারকেন্দ্র একই বিন্দু হইলে দোলনকাল বদলাইবে না।

(ii) ফাঁপা দোলকপিণ্ড জলে আংশিক ভরিলে উহার ভারকেন্দ্র ফাঁপা পিণ্ডের ভারকেন্দ্র হইতে একটু নিচে যায়। ইহাতে l-এর মান বাড়ায় T-ও বাড়ে।

(iii) পাহাড়ের উপর g-র মান ভূপৃষ্ঠে g-র মানের চেয়ে কম। g-র মান কমায় T-র মান বাড়িবে।

(c) উপগ্রহের উপর গ্রহের মহাকর্ষীয় টান বৃত্তপথে ঘুরন্ত নকল উপগ্রহের

প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র টান জোগায়। অতএব $GMm/r^2 = mv^2/r$ (G = মহাকর্ষীয় নিত্যসংখ্যা, M = গ্রহের ভর, m = উপগ্রহের ভর, r = গ্রহের কেন্দ্র হইতে উপগ্রহের দূরত্ব, v = গ্রহের বেগ) সমীকরণ হইতে পাই $v^2 = GM/r$।

পৃথিবীর ব্যাস R এবং ভূপৃষ্ঠ হইতে উপগ্রহের দূরত্ব h হইলে $r = R + h$। ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষীয় ত্বরণ g হইলে $g = GM/R^2$ ('পদার্থের ধর্ম'-অংশের 3 পৃষ্ঠায় 1-5.2 সমীকরণ দেখ) বা, $GM = gR^2$।

অতএব $v^2 = GM/r = GM/(R+h) = gR^2/(R+h)$ বা $v = R\sqrt{g/(R+h)}$। এমকেএস এককে $g = 9{\cdot}8\ \text{m/s}^2$, $R = 6{,}000\ \text{km} = 6 \times 10^6\text{m}$, $h = 400\ \text{km} = 4 \times 10^5\text{m}$। অতএব

$$v = 6 \times 10^6\text{m}\sqrt{(9{\cdot}8\text{m/s}^2)/(6 \times 10^6 + 4 \times 10^5)\ \text{m}}$$

$$= 6 \times 10^6\sqrt{9{\cdot}8/(6{\cdot}4 \times 10^6)}\ \text{m/s} = 7{\cdot}4\ \text{km/s}\ (\text{প্রায়})।$$

('পদার্থের ধর্ম' অংশের 8 পৃষ্ঠার 1-10 বিভাগ পুরাপুরি দেখ।)

5. (a) এক তাল লোহা (আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·8) জলে ডুবিবে, কিন্তু পারার উপর ভাসিবে কেন ব্যাখ্যা কর (পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6)। ব্যাখ্যার জন্য যে তত্ত্ব বা সূত্রের সাহায্য লইবে তাহা বল।

(b) লোহার তাল পারায় ভাসিতে থাকিলে উহার আয়তনের কত ভগ্নাংশ পারায় ডুবিয়া থাকিবে হিসাব কর।

(c) তরলে চাপ সঞ্চালন সংক্রান্ত প্যাস্কালের সূত্রটি লেখ। 4+4+2

উঃ। (a) আর্কিমিডিসের তত্ত্বে বলে "কোন বস্তুকে তরলে অংশতঃ বা পূর্ণতঃ ডুবাইলে উহার ওজন খানিকটা কম বলিয়া মনে হয়। বস্তুটি যে ওজনের তরল স্থানচ্যুত করে, বস্তুর ওজন আপাত ততটাই কমে।" এই তত্ত্বের সাহায্যে প্রশ্নের উত্তর দেওয়া যাইবে।

লোহার তালের আয়তন V ধরা যাক। উহার ওজন $7{\cdot}8V$। জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1। V আয়তন জলের ওজন $1.V$। পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6। V আয়তন পারার ওজন $13{\cdot}6V$। (ওজনগুলি উপযুক্ত এককে প্রকাশিত বলিয়া ধরিতে হইবে।)

জলে ডুবাইলে লোহা আর্কিমিডিসের তত্ত্ব অনুসারে মাত্র V পরিমাণ ঊর্ধ্বচাপ পাইবে। কিন্তু উহার নিজের ওজন $7{\cdot}8V$ নিচের দিকে ক্রিয়া করে। অতএব জল লোহা খণ্ডকে ভাসাইয়া রাখিতে পারিবে না। লোহা জলে ডুবিবে।

পারায় লোহা সম্পূর্ণ ডুবাইয়া ধরিলে লোহার উপর ঊর্ধ্বচাপ হইবে $13{\cdot}6V$। কিন্তু লোহার নিজের ওজন মাত্র $7{\cdot}8V$। অতএব লোহা পারায় ডুবিয়া থাকিতে পারিবে না ; ভাসিয়া উঠিবে।

(b) পারায় লোহার উপর ঊর্ধ্বচাপ স্থানচ্যুত পারার ওজনের সমান। ইহা লোহার ওজনের সমান হইলে লোহা সেই অবস্থায় ভাসিয়া থাকিবে। ধরা যাক লোহার

আয়তনের n ভগ্নাংশ পারায় ডোবান থাকিলে, লোহা ভাসে। তাহা হইলে স্থানচ্যুত পারার ওজন $13{\cdot}6V.n$। ইহাই লোহার ওজন $7{\cdot}8V$-র সমান।

অতএব, $n.13{\cdot}6V = 7{\cdot}8V$ বা $n = 7{\cdot}8/13{\cdot}6 = 0{\cdot}573$।

('পদার্থের ধর্ম' অংশের 30 পৃষ্ঠার 3-4 বিভাগ দেখ।)

(c) (ঐ অংশের 38 পৃষ্ঠার 3-10 বিভাগ দেখ।)

6. (a) বায়ুমণ্ডল চাপ দেয়, কোন পরীক্ষার সাহায্যে ইহা দেখাও।

(b) "কোন স্থানে বায়ুচাপ 760 mm পারার চাপের সমান।" এই উক্তিতে কি বুঝায়? এই চাপ সিজিএস এককে প্রকাশ কর।

$g = 980$ সিজিএস একক ও পারার ঘনত্ব $13{\cdot}6$ g/cm^3 ধর।

(c) সাইফনের ক্রিয়া সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

উঃ। **(a)** বায়ুমণ্ডল চাপ দেয় ইহা পরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন ইতালীয় বৈজ্ঞানিক টরিচেল্লী। একমুখ বদ্ধ প্রায় মিটারখানের লম্বা কাচের একটি নল নিয়া তিনি উহা পারা দিয়া সম্পূর্ণ ভর্তি করেন। নল সম্পূর্ণ বায়ুহীন থাকে। খোলা-মুখ বড় একটি পারা পাত্রে ডুবাইয়া নল খাড়া করিলে তিনি দেখেন নলের পারা নামিয়া প্রায় 76 cm-এর কাছাকাছি স্থির হইয়া আছে। পরে প্যাস্কাল প্রায় 1000m উঁচু একটি পাহাড়ের উপর একই পরীক্ষা করিয়া দেখেন পারা অতটা না উঠিয়া নলে প্রায় 7 cm কম ওঠে।

টরিচেল্লী সিদ্ধান্ত করেন বায়ুমণ্ডলের চাপ পারার উপর ক্রিয়া করিয়া উহাকে খালি নলে ঠেলিয়া তুলিয়া রাখে। এরূপ সিদ্ধান্ত যে সত্য তাহা প্যাস্কালের পরীক্ষায় সমর্থিত হয়, কারণ পাহাড়ের উপর বায়ুর পরিমাণ ভূপৃষ্ঠের চেয়ে কম বলিয়া সেখানে বায়ুচাপও কম হওয়ার কথা।

(b) বায়ুচাপ 760 mm পারার সমান বলিতে বুঝায় 760 mm উঁচু পারা স্তম্ভ যে ঔদ (hydrostatic) চাপ দেয় বায়ুমণ্ডলের চাপ তাহার সমান। $p = h\rho g$ সমীকরণের সাহায্যে এই চাপের মান বাহির করা যায়। এক্ষেত্রে h = স্তম্ভের উচ্চতা = 760 mm = 76 cm (সিজিএস এককে)। ρ = পারার ঘনত্ব = $13{\cdot}6$ g/cm^3, $g = 980$ cm/s^2। অতএব সিজিএস এককে চাপের মান

$$76 \times 13{\cdot}6 \times 980 = 1{\cdot}013 \times 10^6 \text{ (dyn/cm}^2\text{)}$$

(c) ('পদার্থের ধর্ম' অংশের 46 পৃষ্ঠার 3-13.1 বিভাগ দেখ।)

গ্রুপ—B

7. (a) কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক কাহাকে বলে?

(b) দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক ও আয়তন প্রসারণ গুণাংকের সম্পর্ক বাহির কর।

(c) একখানা স্টীল স্কেলের ক্রমাংকন 68° F উষ্ণতায় ঠিক। 50° C-তে উহা

দিয়া একটি পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিয়া মান পাওয়া গেল 1·5 m। 50° C-তে দণ্ডের যথার্থ দৈর্ঘ্য কত? (স্টীলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক $= 11·2 \times 10^{-6}$ °C।)

2+4+4

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 6 পৃষ্ঠা দেখ।)

(b) (ঐ অংশের 9 পৃষ্ঠার 2-3.1 বিভাগ দেখ; 2-3.6 সমীকরণ।)

(c) $68° \text{ F} = (68-32) \times (5/9) = 20° \text{ C}$। স্কেলের উষ্ণতাবৃদ্ধি $50-20 = 30°$ C। যাহা 20° C-তে 1 m বলিয়া চিহ্নিত তাহা 50° C-তে আসিলে দৈর্ঘ্যে বাড়িয়া $1(1+11·2 \times 10^{-6} \times 30) = 1·000336$ m হয়। কিন্তু দাগ অনুসারে উহা তখনও 1 m। অতএব যাহা 1·5 m বলিয়া দেখা গিয়াছে তাহার আসল দৈর্ঘ্য

$1·5 \times 1·000336 = 1·500504$ m।

8. (a) কোন তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কি বুঝায়? ভার থার্মমিটারের (Weight thermometer) সাহায্যে ইহাদের কোন্ প্রসারণ গুণাংক নির্ণীত হয়?

(b) উপায়টি বর্ণনা কর।

(c) জমিয়া যাওয়া হ্রদে মাছ কি করিয়া বাঁচে?

4+5+1

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 16 পৃষ্ঠার 3-1 বিভাগ দেখ।)

ভার থার্মমিটার আপাত প্রসারণ গুণাংক মাপে।

(b) আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপক বোতল (specific gravity bottle) ভার থার্মমিটার হিসাবে ব্যবহার করা যায়। ধরা যাক

m_1 = শূন্য বোতলের ভর;

m_2 = নিম্নতর উষ্ণতায় বোতল + বোতল ভরা তরলের ভর;

m_3 = উচ্চতর উষ্ণতায় বোতল + বোতল ভরা তরলের ভর;

$t°$ C = দুই উষ্ণতার প্রভেদ।

তাহা হইলে আদি উষ্ণতায় তরলের ভর $= m_2 - m_1 = M_1$ এবং অন্ত উষ্ণতায় ভর $= m_3 - m_1 = M_2$।

আদি উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব ρ_1 এবং অন্ত উষ্ণতায় উহা ρ_2 ধরা যাক। বোতলের **আয়তন প্রসারণ উপেক্ষা করিয়া** উভয় উষ্ণতায় উহার আয়তন V ধরিলাম। তাহা হইলে $V = M_1/\rho_1 = M_2/\rho_2$।

দুই ঘনত্বে সম্পর্ক $\rho_1 = \rho_2(1+\gamma t)$। এখানে γ রাশিটিকেই আপাত প্রসারণ গুণাংক বলিয়া ধরিতে হইবে, কারণ পাত্রের প্রসারণ উপেক্ষা করা হইয়াছে।

$$\therefore \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2} \text{ বা } 1+\gamma t = \frac{M_1}{M_2} \text{ বা } \gamma = \frac{M_1 - M_2}{M_2 t}।$$

এইভাবে পরীক্ষা করিতে হইলে প্রথমে খালি বোতলটি ওজন করিতে হইবে (m_1)। পরে উহা তরলে ভরিয়া ভাল করিয়া মুছিয়া ওজন করিতে হইবে (m_2)।

ইহার উষ্ণতা t_1-ও দেখিতে হইবে। ফুটন্ত জলে বা কোন উষ্ণ কুণ্ডে কিছুক্ষণ রাখিলে তরল প্রসারিত হইবে ও উহার কিছুটা বোতল হইতে বাহির হইয়া যাইবে। তখন বোতল বাহিরে আনিয়া মুছিয়া ও ঠাণ্ডা করিয়া উহার ওজন নিতে হইবে (m_3)। উষ্ণকুণ্ডের উষ্ণতা t_2 হইলে, $t_2 - t_1 = t$। γ হিসাব করিবার সমস্ত রাশিগুলি এইভাবে পাওয়া গেল।

(c) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 21 পৃষ্ঠার 3-3.1 বিভাগ দেখ।)

8 (বিকল্প)। (a) স্বাভাবিক কম্পন (Natural vibration) ও পরবশ বা প্রণোদিত কম্পন (Forced vibration) বলিতে কি বুঝায় ?

(b) প্রণোদিত কম্পন ও অনুনাদ (Resonance)-এ প্রভেদ কি ?

(c) ঝুলান সেতু (Suspension bridge) পার হইবার সময় সৈন্যদের কুচ-কাওয়াজের পদক্ষেপ ভাঙ্গিয়া দিতে বলা হয় কেন ?

(d) বেহালায় ফাঁপা বাক্সটির দরকার কি ? $2+4+2+2$

উঃ। (a) ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 12 পৃষ্ঠার 1-10 বিভাগ ও 13 পৃষ্ঠার 1-11 বিভাগ দেখ।)

(b) (ঐ অংশের 14 পৃষ্ঠার 1-11.1 বিভাগও দেখ।)

(c) ঝুলান সেতুর স্বভাবকম্পন হয়, এবং তাহার একাধিক স্বাভাবিক কম্পাংক আছে। এক তালে চলার সময় সৈন্যদের পদক্ষেপেরও স্বাভাবিক কম্পাংক আছে। ইহা সেতুর কোন স্বাভাবিক কম্পাংকের সমান হইলে সেতুর দোলনের সঙ্গে উহার অনুনাদ হইবে এবং দোলনের বিস্তার বাড়িবে। ইহাতে সেতু ভাঙ্গিয়া যাইতে পারে। (কোন কোন ক্ষেত্রে ভাঙ্গিয়া যাইবার কথাও জানা আছে।) এরূপ দুর্ঘটনা যাহাতে না ঘটিতে পারে সেজন্য সৈন্যদের হাঁটার তাল ভাঙ্গিয়া দেওয়া হয়। তখন দলগতভাবে হাঁটার কোন স্বাভাবিক কম্পাংক থাকে না।

(d) কম্পমান তার হইতে যে শব্দ বাহির হয় তাহা অতি ক্ষীণ। শব্দ জোরাল করিয়া শুনিবার জন্য ফাঁপা বাক্সটি দরকার। তারের কম্পন ব্রিজের মারফত বাক্সের উপরের পাতলা তক্তাখানা কাঁপায়। (বাদ্যযন্ত্রের এই ব্রিজকে 'সোয়ারী' বলে।) তক্তার কম্পনে বাক্সের ভিতরের বায়ুতে পরবশ কম্পন হয়। ইহার শক্তি তারের কম্পন হইতে আসে। বাক্সের বায়ু যথেষ্ট শক্তি পাইলে উহার কম্পনের বিস্তার বেশী হয়। এই বায়ু কম্পমান স্বনকের কাজ করে। বাক্সের ডালার ছিদ্র দিয়া বায়ুর কম্পন প্রগামী তরঙ্গের আকারে বাহির হয়। ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 50 পৃষ্ঠায় দ্বিতীয় প্যারা দেখ।)

9. (a) কোন বস্তুর তাপ ধারকতা (Thermal capacity) বলিতে কি বুঝায় ? তাপীয় ধারকতা ও জলসমে (Water equivalent-এ) প্রভেদ কি ?

(b) কোন সংকর ধাতুতে 60% তামা ও 40% নিকেল আছে। এই ধাতুর 50 g ওজনের এক খণ্ড 80° C উষ্ণতায় তুলিয়া 10 g জলসমের ক্যালরিমিটারে 10° C

উষ্ণতায় 90 g জল ছিল। মিশ্রণের চরম উষ্ণতা কত হইবে? (তামার আপেক্ষিক তাপ = 0·09 এবং নিকেলের 0·11।)

(c) সমুদ্রবায়ু (Sea breeze) সৃষ্টিতে জলের আপেক্ষিক তাপের গুরুত্ব কি?

3 + 5 + 2

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 37 পৃষ্ঠার 5-2.4 বিভাগ দেখ। তাপীয় ধারকতা বা তাপ-ধারিতা একই বস্তু।)

(b) 50 g সংকর ধাতুতে $50 \times (60/100) = 30$ g তামা ও 20 g নিকেল আছে। একখণ্ড ধাতুর বদলে 30 g তামা ও 20 g নিকেল আছে ধরা যায়। ইহাদের 80° C উষ্ণতায় তুলিয়া 10° C উষ্ণতার জলে ফেলা হইয়াছে। সাধারণ উষ্ণতা t° C হইলে,

বর্জিত তাপ $= (30 \times 0{\cdot}09 + 20 \times 0{\cdot}11)(80 - t)$ cal।

ক্যালরিমিটার ও জলের গৃহীত তাপ $= (90 + 10)(t - 10)$ cal।

অতএব $(30 \times 0{\cdot}09 + 20 \times 0{\cdot}11)(80 - t) = 100(t - 10)$

সমীকরণের সমাধানে পাই $t = 13{\cdot}27°$ C।

(c) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 77 পৃষ্ঠার (9) চিহ্নিত বিষয়টি দেখ। জলের আপেক্ষিক তাপ সকল প্রকার কঠিন বা তরল পদার্থের চেয়ে বেশী। ইহার জন্যই জল অন্যান্য বস্তুর তুলনায় সমান পরিমাণে ঠাণ্ডা বা গরম হইতে সময় বেশী নেয়।)

10. (a) স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপের চেয়ে বেশী কেন ব্যাখ্যা কর।

(b) উভয় দিক বন্ধ, তাপ নিরোধী একটি নলে 800 g সীসার গুলি আছে। নল 1 m লম্বা এবং খাড়া করিয়া রাখা। উহা হঠাৎ উল্টাইলে সীসার গুলি অন্যপ্রান্তে পড়ে। 50 বার এরকম করিলে দেখা যায় গুলির উষ্ণতা 3·89° C বাড়িয়াছে। উৎপন্ন তাপ সীসাতেই রহিয়া গিয়াছে ধরিয়া তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংকের মান বাহির কর। (সীসার আপেক্ষিক তাপ = 0·03।)

(c) তাপগতি বিদ্যার প্রথম সূত্রটি কি?

3 + 5 + 3

উঃ। (a) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 97 পৃষ্ঠা দেখ।)

(b) বার বার নল উল্টানোয় যান্ত্রিক কার্য

= পতনের শক্তি × পতন সংখ্যা $= mgh \times n$

$= 800 \text{ g} \times 980 \text{ cm/s}^2 \times 100 \text{ cm} \times 50$

$= 40 \times 98 \times 10^6$ সিজিএস একক (আর্গ)।

উৎপন্ন তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

$= 800 \text{ g} \times 0{\cdot}03 \times 3{\cdot}89° \text{ C} = 24 \times 3{\cdot}89$ ক্যালরি।

$\therefore \quad J = \frac{\text{কার্য}}{\text{তাপ}} = \frac{392}{93{\cdot}36} \times 10^7 = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

(c) ('তাপতত্ত্ব' অংশের 91 পৃষ্ঠার 10-1.1 বিভাগ দেখ।)

11. (a) গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের মৌলিক অঙ্গীকার (স্বীকার্য)-গুলি বল।

(b) গতীয় তত্ত্বের ভিত্তিতে গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতার ধারণা (concept) আলোচনা কর। 5 + 5

উঃ। **(a)** ('তাপতত্ত্ব' অংশের 86 পৃষ্ঠার 9-3 বিভাগ দেখ।)

(b) (ঐ অংশের 87 পৃষ্ঠার 9-4 ও 9-5 বিভাগ দেখ।)

11 (বিকল্প)। **(a)** গ্যাসে শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটনের সমীকরণে লাপ্লাসের শুদ্ধিটি কি? শুদ্ধির দরকার হইয়াছিল কেন?

(b) সুস্বরের (musical sound-এর) বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর। সুস্বরের জাতি (quality) কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে? 5 + 5

উঃ। **(a)** ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 32 পৃষ্ঠার 3-4.1 বিভাগ দেখ।)

(b) (ঐ অংশের 62 পৃষ্ঠার 8-2 বিভাগ ও 64 পৃষ্ঠার 8-4 বিভাগ দেখ। 8-3 বিভাগটিও দেখিও।)

12. (a) তরঙ্গগতি সম্পর্কে নীচের শব্দগুলির সংজ্ঞা লেখ—

(i) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (ii) কম্পাংক, (iii) বিস্তার।

(b) স্থাণুতরঙ্গ বলিতে কি বুঝায়? একটি সরল পরীক্ষার সাহায্যে ইহার উৎপত্তির বর্ণনা দাও।

(c) স্বরকম্প কি ভাবে সৃষ্ট হয় আলোচনা কর। 3 + 4 + 3

উঃ। **(a)** ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 19 পৃষ্ঠার 2-3 বিভাগের (১) ও (২) দেখ।)

(b) (ঐ অংশের 41 পৃষ্ঠার 5-3 বিভাগ ও 42 পৃষ্ঠার 5-3.2 বিভাগ দেখ।)

(c) ('কম্পন ও তরঙ্গ' অংশের 38 পৃষ্ঠার 5-2 বিভাগ ও 39 পৃষ্ঠার 5-2.2 বিভাগ দেখ।)